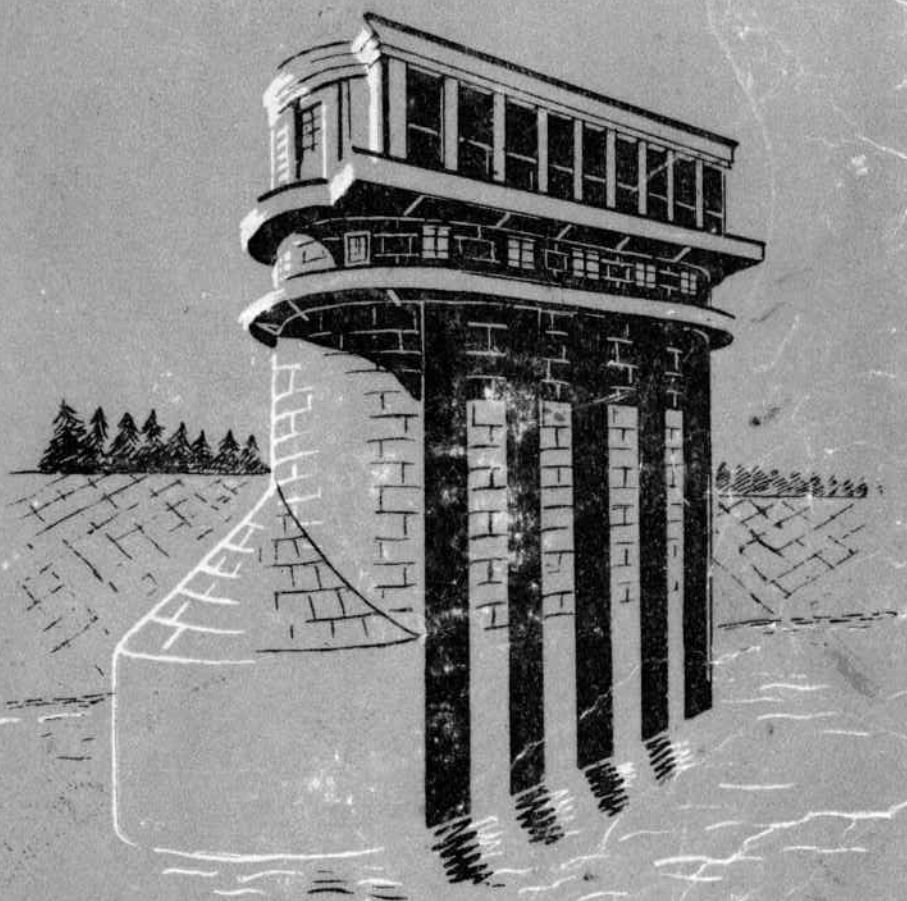
628
Г34

Проф. д-р техн. наук Н.Н. ГЕНИЕВ
Проф. д-р техн. наук Н.Н. АБРАМОВ

ВОДОСНАБЖЕНИЕ



СТРОЙИЗДАТ НАРКОМСТРОЯ
1 9 4 4

628
Г34

Заслуженный деятель науки и техники, проф. Н. Н. ГЕНИЕВ,
проф., д-р техн. наук Н. Н. АБРАМОВ

КОНТРОЛЬНЫЙ
ЭКЗЕМПЛЯР

ВОДОСНАБЖЕНИЕ

628.1
Г-

Допущено Всесоюзным комитетом по делам высшей школы при СНК СССР в качестве учебника для строительных втузов

154543

МОГИЛЕВСКАЯ
ОБЛАСТНАЯ
БИБЛИОТЕКА
им. Ленина
Инв. №

Рэспубліканская
навукова-тэхнічная
бібліятэка

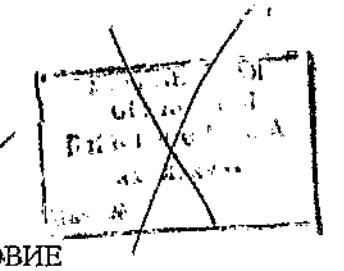
ПРОВЕРЕНО
ДВП

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1944 ЛЕНИНГРАД

Редакторы и рецензенты: канд. техн. наук доц. *Кожинов В. Ф.* и канд. техн. наук доц. *Шнееров А. И.*

Книга предназначена служить учебником по курсу «Водоснабжение» для студентов строительных втузов и факультетов и написана по программе, утвержденной ВКВШ для этого курса.

В книге изложены все основные вопросы проектирования, устройства и эксплоатации водоснабжения населенных мест и промышленных предприятий. Главы, содержащие методы расчета отдельных водопроводных сооружений, иллюстрированы числовыми примерами.



ПРЕДИСЛОВИЕ

Водоснабжение современных городов и промышленных предприятий является вопросом первостепенной важности.

Нет почти ни одной отрасли народного хозяйства и техники, где не расходовалась бы вода на те или иные нужды.

Еще более возросла роль водоснабжения в условиях Великой Отечественной войны, когда потребовалась форсированная работа водопроводных систем и, в частности, для борьбы с пожарами.

Современные системы водоснабжения представляют собой сложный комплекс разнообразных сооружений, обеспечивающих добывание, очистку и подачу потребителями требуемых количеств воды надлежащего качества. Поэтому инженер, специализирующийся в области водоснабжения, должен быть знаком с рядом дисциплин, относящихся к различным областям техники.

Для разрешения вопросов добывания воды из природных источников необходимо знакомство с гидрологией, гидрогеологией, гидротехническими сооружениями и буровой техникой.

Проектирование, строительство и эксплоатация сооружений для подачи воды требует знания специального технического оборудования: насосов, двигателей, электроаппаратуры, регулирующих и измерительных приборов.

Разрешение вопросов технологии очистки воды до высокого качественного уровня определяет необходимость достаточных знаний в области химии воды и гидробиологии.

Проектирование и расчет водопроводных сооружений и особенно сети труб, базирующиеся на законах гидравлики, требуют глубокого знания этой дисциплины.

Наконец, для работы по проектированию и возведению водопроводных сооружений инженер должен иметь хорошую подготовку в области строительных дисциплин.

Для формирования инженера такого широкого комплексного профиля в учебный план специальности «водоснабжение и канализация» входят дисциплины: гидравлика, электротехника, теплотехника, детали машин, насосы, гидрология, гидрогеология, гидротехнические сооружения, специальный курс химии и ряд строительных дисциплин.

Изучение перечисленных дисциплин должно предшествовать прохождению соответствующих разделов курса водоснабжения.

Настоящая книга является первым опытом создания учебника по курсу водоснабжения для специальности «водоснабжение и канализация» строительных вузов.

Огромное многообразие вопросов, охватываемых курсом, при высоком уровне развития современной техники водоснабжения не позволяет изложить разделы учебника с желаемой степенью детализации.

Поэтому учебник охватывает с должной полнотой только основные вопросы водоснабжения и дает сведения, отвечающие по содержанию и объему утвержденной программе.

Более подробные сведения по отдельным вопросам водоснабжения учащиеся могут получить из учебных пособий (см. перечень рекомендуемой литературы) и из технической литературы.

Вопросы производства строительных работ по возведению водопроводных сооружений в учебник не вошли, так как излагаются в курсе «Строительное производство», и только при описании работ по монтажу водопроводных сетей неизбежно пришлось коснуться методов их осуществления.

При составлении учебника использованы новейшие литературные материалы, а также опыт проектирующих и строящих организаций и научных учреждений.

В ряде разделов учебника отражен интересный и богатый опыт устройства и эксплоатации водопроводов в условиях военного времени. Особое внимание уделено также временному водоснабжению и вопросам водоснабжения войск.

Авторы ставили своей целью содействовать подготовке молодых кадров инженеров по водоснабжению, необходимых при восстановлении разрушенных фашистскими захватчиками районов и для дальнейшего развития народного хозяйства нашей Великой Родины.

Отдельные главы учебника написаны: I—XVI и XXV—XXVII проф. Абрамовым; IX, X и XX—XXIV—проф. Н. Н. Гениевым и XVII—XIX — доц. В. И. Павловым.

Авторы выражают глубокую признательность рецензентам и редакторам В. Ф. Кожинову и А. И. Шнеерову за ценные замечания по рукописи и большую и тщательную работу по ее редактированию.

ВВЕДЕНИЕ

Снабжение водой населенных мест и промышленных предприятий является одной из ответственнейших народнохозяйственных задач.

Современный город со своей сложной системой коммунального хозяйства, потребляет весьма большое количество воды для поддержания санитарного благосостояния застроенной территории, на хозяйственные нужды, поливку зеленых насаждений, борьбу с пожарами и т. п.

Потребление населением предварительно очищенной и обеззараженной воды, получаемой из природных источников, предохраняет его от различных эпидемических заболеваний, передаваемых через воду, и тем самым ведет к уменьшению смертности.

Использование водопроводов для противопожарных целей защищает от огня ценнейшие сооружения и постройки.

Огромные количества воды потребляют также заводы и фабрики на нужды производства; от качества подаваемой воды и организации водоснабжения промышленного предприятия в значительной мере зависят качество и себестоимость выпускаемой продукции.

Для удовлетворения потребности в воде городов и промышленных предприятий устраиваются мощные централизованные системы водоснабжения, в задачи которых входят добывание, очистка и подача воды потребителям.

В современном коммунальном и заводском хозяйстве система водоснабжения входит в общий комплекс с системами канализации, энергоснабжения, транспорта и т. п. Поэтому для правильного разрешения вопросов водоснабжения необходимо учитывать взаимное техническое и экономическое влияние всех этих систем.

Все это позволяет сделать вывод, что в хозяйстве населенных мест и промышленных предприятий водоснабжение имеет исключительно большое санитарно-техническое и экономическое значение.

Развиваясь одновременно с другими отраслями техники, техника водоснабжения прошла длинный исторический путь.

Первые сведения, которые мы имеем об искусственных сооружениях для добывания воды относятся к колодцам, строившимся египтянами почти за 3 000 лет до н. э. Упоминания о колодцах имеются также в библейской истории.

В древнем Египте имелись простейшие механические приспособления для подъема воды из колодцев (рычажная машина «Шадуф» — подобие «журавля»). В древнем Китае умели рыть колодцы глубиной до 500 *м*, из которых получали воду ведрами при помощи воротов или блоков. В Вавилоне для орошения знаменитых висячих садов большое количество воды подавалось на высоту до 90 *м* при помощи специальных водоподъемных приспособлений, надо полагать, типа норий.

Применение труб гончарных и деревянных, а также металлических — свинцовых и медных для разведения воды из резервуаров имело место уже в водопроводах Египта и Вавилона.

В период расцвета древней Греции и Рима существовали централизованные системы водоснабжения весьма солидных размеров.

За 2 500 лет до н. э. греки проводили воду в свои города на значительное расстояние, устраивая для этого подземные самотечные каналы. Рим императорской эпохи имел 9 водопроводов общим протяжением около 450 *км*. Вода подводилась к городу самотеком по каналам и специальным мостам — акведукам. Акведуки, сохранившиеся частично до наших дней, представляют интереснейшие образцы древнего инженерного искусства; общая длина римских акведуков достигала 63 *км*, высота — 32 *м*. Вода подводилась к центральным резервуарам, из которых подавалась по трубам к общественным учреждениям (баням, купальням), к дворцам и домам богатых граждан, а также к общественным фонтанам и бассейнам, которыми пользовалось население. О мощности водопроводных систем того времени можно судить из примера римского водопровода, который подавал около 1 млн. $м^3$ воды в сутки. Следует, однако, отметить, что более 50% общего количества воды, подававшейся в город, шло для императорского дворца и домов богатых патрициев, около 25% — в общественные бани и души и только около 13% поступало населению через общественные фонтаны.

Имеются сведения, что в римском водопроводе применялись также устройства для осветления воды (отстойники и даже песчаные фильтры).

О большом внимании, которое в античном Риме уделялось вопросам водоснабжения, свидетельствуют работы римских писателей Витрувия (1 век до н. э.) и Фронтина (1 век н. э.), содержащие исключительно интересные указания по изысканию источников водоснабжения и строительству водопроводов.

В эпоху средних веков дело водоснабжения пришло в полный упадок и такое положение имело место почти на протяжении 1 500 лет.

Из древних водопроводных устройств, применявшихся народами, населявшими территорию СССР, следует указать на своеобразные сооружения для сбора грунтовых вод — так называемые кяризы, сооружавшиеся в маловодных районах Средней Азии и сохранившиеся частично до нашего времени.

В Крыму — в Херсонесе (Корсунь) и Пантикапее (Керчь) найдены многочисленные цистерны для сбора дождевых вод, вырубленные в скалах. В Херсонесе был сооружен самотечный водопровод из гончарных труб протяжением около 8 *км*, разрушенный при осаде этого города. Имеются сведения о самотечном водопроводе из гончарных труб, построенном в Грузии в 1202 г.

Более заметное развитие водопроводная техника и строительство водопроводов в Западной Европе и в России получают лишь в XVI, XVII вв. Строятся водопроводы в Лондоне, Париже и других городах. Изобретение паровой машины Уатта и поршневых насосов дает большой толчок к развитию водопроводного дела. В конце XVII в. сооружаются водопроводы: в Киеве (для духовной академии — в 1668 г.) и в Московском Кремле (в 1681 г.). С 1684 г. у московского царя имеется свой специальный «водовзводного дела работник», имя этого первого русского водопроводчика — Никита Галахтионко. В начале XVIII в. Петром I строятся первые водопроводы в Петербурге — для Летнего сада и дворца (1718 г.) и осуществляется водоснабжение Петергофских фонтанов (1721 г.) и т. д. Первый централизованный городской водопровод в России сооружен в 1787 г. в г. Царское село (г. Пушкин).

Первый централизованный водопровод в Москве сооружается в 1779—1804 гг. Источниками водоснабжения служили родники около

с. Б. Мытищи (в 16 *км* от города), откуда вода подавалась самотеком по кирпичной галлерее. Мытищинский водопровод, подвергшийся за истекший период коренной реконструкции, существует и поныне, однако, мытищинская вода в настоящее время составляет лишь небольшой процент от общего количества воды, потребляемой столицей.

В дореволюционной России дело водоснабжения было поставлено совершенно неудовлетворительно; к 1913 г. лишь около 20% городов имели водоснабжение. Количество воды, подаваемой этими водопроводами совершенно не удовлетворяло потребностей населения; качество воды во многих водопроводах из-за отсутствия надлежащей очистки было также весьма низким.

Надо указать, что даже такие крупные центры, как Петербург, не получали в то время надлежащим образом очищенной воды.

Рост коммунального водоснабжения влечет за собой рост санитарного благосостояния городов СССР. Современные системы водоснабжения предусматривают не только подачу требуемых количеств воды, но и очистку воды, получаемой из природных источников. Очистные станции современных водопроводов представляют собой крупные фабрики доброкачественной воды. Употребление очищенной и обеззараженной водопроводной воды вместо загрязненной воды природных источников ведет к резкому снижению инфекционных заболеваний, передаваемых через воду (брюшной тиф, холера, дизентерия и др.).

Улучшение и развитие санитарно-технического оборудования жилищ, устройство промывных уборных, ванн, душей, централизованных систем горячего водоснабжения и т. п., требуют подачи соответствующих количеств воды.

Удельное водопотребление или количество воды, расходуемое в сутки на одного жителя, из года в год увеличивается.

Так, для Москвы это количество с 61,5 *л* (в 1913 г.) выросло до 210 *л/сутки* (в 1937 г.), а после постройки в 1940 г. канала Волга — Москва — до 250 *л*. При завершении плана реконструкции московского водопровода суточная норма водопотребления запроектирована в 600 *л* на жителя.

В среднем по СССР за годы после революции суточная норма водопотребления возросла примерно в 4 раза.

Огромная роль водопроводов в борьбе с пожарами в мирное время еще сильнее возрастает в условиях военного времени.

Современные крупные города обслуживаются мощными и сложными системами водопроводов, включающих в себя сооружения для регулирования водного стока рек (плотины, водохранилища), мощные насосные станции, очистные сооружения, резервуары и водонапорные башни для хранения запасов воды и, наконец, сеть водопроводных труб, иногда весьма значительного протяжения. Так, например, московский водопровод получает воду из р. Волги по каналу длиной 128 *км*, при этом суточная подача воды при полном развитии водопровода составит более 1½ млн. $м^3$. Гор. Баку транспортирует воду за 180 *км*. Значительные масштабы имеет водоснабжение и ряда заграничных городов.

Так, водопровод г. Лондона имеет сеть труб, протяжением в 12 000 *км*, 49 водохранилищ, 117 насосных станций, 94 резервуара для хранения запасов воды и т. д.

Гор. Лос-Анжелос получает воду по водоводу длиной 385 *км*.

Не меньшее значение и не меньшие масштабы имеют и системы промышленного водоснабжения.

Промышленные предприятия в зависимости от рода их технологии расходуют воду для охлаждения машин, питания паровых котлов, конденсации пара, промывки фабриката и т. п.

Расход воды в некоторых отраслях промышленности достигает весьма больших размеров.

Грандиозный рост промышленного строительства в годы сталинских пятилеток обусловил исключительное развитие промышленного водоснабжения. Сооружены такие крупнейшие промышленные водопроводы, как водопровод Магнитогорского металлургического комбината, Кузнецкого комбината, Мариупольских заводов, Камского бумажного комбината, заводов синтетического каучука и многие другие.

Для сравнения интересно указать, что, например, за 1936 г. одни лишь южные металлургические заводы израсходовали столько же воды, сколько все городские водопроводы Союза.

Промышленные водопроводы в ряде случаев вынуждены транспортировать воду из отдаленных источников. Из построенных в последнее время групповых промышленных водопроводов интересен турьевский водопровод, снабжающий водой группу нефтепромыслов и имеющий водоводы общим протяжением 250 *км*.

Для характеристики следует отметить, что водоводы некоторых крупных промышленных предприятий имеют диаметр 1,5—2,0 *м*.

Исходя из отмеченной нами роли водоснабжения в организации промышленных комплексов, самый выбор места расположения новых заводов должен производиться с учетом возможности получения относительно дешевой и пригодной для данного вида производства воды.

Исключительно важное значение имеет водоснабжение железных дорог. Бесперебойное снабжение водой паровозов обеспечивает нормальную работу транспорта и тем самым разрешает большую задачу народнохозяйственного и оборонного значения.

В послереволюционные годы в СССР построено более 3 000 железнодорожных водопроводов. В последние годы осуществлено строительство групповых (продольных) железнодорожных водопроводов, обслуживающих ряд станций и имеющих протяжение до 100—150 *км*.

Вполне очевидно значение водоснабжения и для сельского хозяйства.

Развитие сельского хозяйства в СССР и организация крупных совхозов вызвала необходимость снабжения водой животноводческих ферм, устройства оросительных водопроводов и т. п.

В настоящее время у нас имеются образцово оборудованные фермы с автоматическими поилками для скота, душами и пр.

Растет также число колхозных водопроводов, использующих при строительстве местные материалы, энергетические ресурсы и простейшее оборудование.

Можно указать на целый ряд существующих у нас групповых колхозных водопроводов.

В условиях Советского государства имеются широкие возможности для кооперирования отдельных потребителей и устройства групповых и районных водоснабжений.

Подобное кооперирование позволяет осуществить снабжение водой таких потребителей, которые, действуя отдельно, не смогли бы построить рационально свои самостоятельные водопроводы.

Исключительная роль в деле организации водного хозяйства принадлежит групповым и районным системам водоснабжения крупных промышленных районов. Из таких систем значительный интерес представляет водоснабжение Донбасса. Недостаток природных источников водоснабжения и наличие ряда крупных заводов и населенных мест потребовали создания единой схемы водоснабжения, обеспечивающей наиболее рациональное и экономное расходование естественных водных ресурсов.

Схема водоснабжения Донбасса охватывает огромную территорию, равную территории нескольких европейских государств, вместе взятых, и предусматривает устройство ряда районных систем водоснабжения как для промышленных, так и для питьевых нужд.

Для зарегулирования водного стока здесь устроены многочисленные водохранилища; для питьевых целей используются как подземные воды, так и воды поверхностных источников после соответствующей очистки.

В настоящее время у нас осуществлено строительство целого ряда крупнейших районных водоснабжений: Нижнетагильского, Свердловского, Молотовского, Сталинского и других районов.

Восстановление городов и промышленных предприятий в освобожденных от оккупации районах нашей страны потребует проведения огромной работы по восстановлению, реконструкции и развитию водоснабжения в ряде районов.

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Глава I

ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И НОРМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ

§ 1. Основные схемы водоснабжения

Система водоснабжения города или промышленного предприятия должна обеспечить получение воды из природного источника, улучшение ее качества, когда это вызывается требованиями потребителей, и подачу ее к местам водопотребления. Для выполнения этих задач служат: а) водоприемные сооружения, при помощи которых осуществляется получение поверхностных или подземных вод; б) водоподъемные сооружения или насосные станции, подающие воду по трубам к местам ее обработки, хранения или использования; в) очистные сооружения, на которых происходит улучшение качества воды; г) водоводы и сеть труб, служащие для транспортирования воды и подачи ее к местам потребления; д) башни и резервуары, предназначенные для хранения в них определенных запасов воды, размеры которых зависят от режима работы водопровода и характера потребителей. Кроме перечисленных основных элементов система водоснабжения в зависимости от ее назначения (хозяйственно-питьевая, производственная и др.) может включать и другие элементы, например водоохладительные устройства.

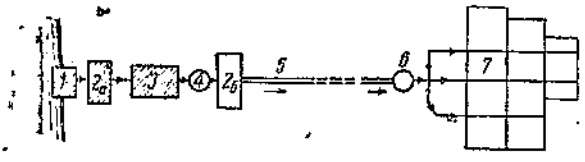


Рис. 1

Общая схема водоснабжения приведена на рис. 1. Вода забирается из источника через водоприемное сооружение *1* и подается насосами I подъема, установленными на станции *2а*, на очистные сооружения *3*. После очистки вода поступает в сборный резервуар *4*, из которого забирается другой группой насосов — II подъема, установленных на станции *2б*, и по водоводу *5* через водонапорную башню *6* подается в сеть труб *7*, разводящих воду к местам потребления.

В зависимости от местных условий и рода потребителей воды схема водоснабжения и составляющие ее элементы могут меняться в широких пределах. Весьма большое влияние на схему водоснабжения оказывает принятый источник водоснабжения: его характер, мощность, качество воды в нем, удаленность от снабжаемого объекта и т. д.

В качестве источника водоснабжения могут использоваться открытые водоемы — реки, озера, пруды, а в отдельных случаях — моря; подземные, а также ключевые воды. Сопоставление качеств воды дан-

ного источника и требований, предъявляемых к ней потребителем, определяет необходимость и характер очистки воды. Так, к воде, идущей на удовлетворение бытовых нужд населения, в первую очередь предъявляются требования санитарного порядка. Вода должна быть безвредной для здоровья, не содержать болезнетворных бактерий, быть прозрачной, не иметь запаха и дурных привкусов и т. д. Такими качествами зачастую обладает вода подземных источников, и ее часто подают потребителям без очистки. Вода открытых водоемов, особенно рек, в большинстве случаев мутна, загрязнена стоками поверхностных вод и содержит значительное количество бактерий. Поэтому вода открытых водоемов часто неудовлетворительна в санитарном отношении. При использовании речной воды для хозяйственно-питьевых нужд требуется предварительная ее очистка. Для ряда промышленных предприятий также необходимо предварительное улучшение качества воды. Так, например, для питания котлов, охлаждения агрегатов и т. п. не может быть непосредственно использована вода «жесткая», т. е. содержащая соли кальция (CaO) и магния (MgO). Поэтому воды подземных источников, обычно обладающие значительной жесткостью, используются в такого рода установках лишь после предварительного умягчения. Между тем речная вода часто оказывается достаточно «мягкой» и может быть использована для нужд этих потребителей без обработки.

При использовании подземных вод нередко очистная станция *3* будет в системе отсутствовать; при этом отпадает необходимость и в элементах *2б* и *4* (рис. 1). Подобная схема представлена на рис. 2 для водоснабжения населенного места из подземных источников.

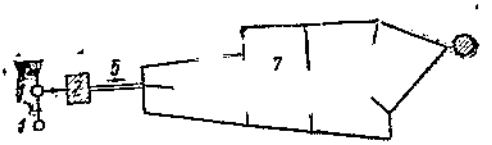


Рис. 2

Тип водоприемных сооружений определяется в зависимости от характера источника. При поверхностных водах устраиваются речные, озерные или морские водоприемники, при подземных водах — колодцы, скважины или водосборные галлереи.

При огромных расходах воды современными городами и промышленными предприятиями количество воды, которое может дать природный источник (дебит его), нередко оказывается недостаточным.

Если река не обеспечивает возможности получения необходимых количеств воды в маловодные периоды года, — производится регулирование речного стока путем устройства плотин и водохранилищ. Последние, собирая воду во время паводков, создают запасы воды для пополнения расхода в засушливые месяцы.

В ряде случаев для водоснабжения крупных объектов используется несколько источников. Нередко встречаются городские водопроводы, пользующиеся одновременно и речной водой, и подземными водами.

Рельеф местности также оказывает влияние на схему водоснабжения. В горных местностях источник водоснабжения может находиться на отметках, значительно превышающих отметки территории снабжаемого водой объекта. В этом случае воду можно подавать самотеком и устройство насосной станции не требуется.

При значительной разности отметок в пределах обслуживаемой водопроводом территории приходится, во избежание чрезмерных давлений в трубах, лежащих в пониженных районах, устраивать так называемые зонные водопроводы с отдельными насосными станциями и резервуарами в каждой зоне.

Для крупных объектов водоснабжения, расположенных в мало-

водных местностях, приходится иногда использовать весьма отдаленные источники и подавать воду на десятки, а иногда и сотни километров, о чем уже говорилось выше. Многие заводы также получают воду для промышленных целей, транспортируя ее на расстояния в несколько десятков километров.

Транспортирование воды на дальние расстояния производится в зависимости от рельефа местности при помощи насосов или самотеком.

Насосы I и II подъемов можно располагать в отдельных зданиях (*2а* и *2б*, рис. 1) или же объединять в одном здании (рис. 3). Иногда насосы I подъема располагают непосредственно в водоприемном сооружении. В некоторых случаях очистную станцию и связанные с ней резервуар и насосную станцию II подъема устраивают не возле источника (как на рис. 1), а вблизи потребляющего воду объекта.

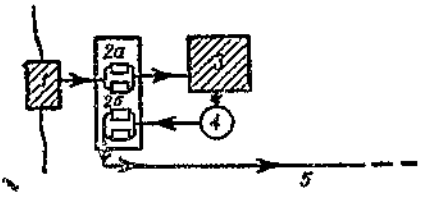


Рис. 3

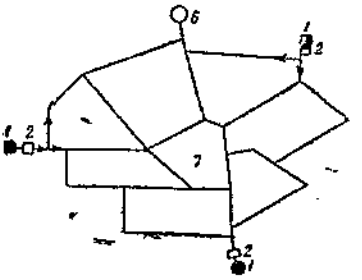


Рис. 4

Водонапорная башня может быть расположена в начале сети (рис. 1), в конце ее (рис. 2) или в какой-либо промежуточной точке. Башни, расположенные в конце сети, обычно называют «контррезервуарами».

При получении артезианских вод из нескольких скважин схема водоснабжения может иметь следующий вид (рис. 4): каждая из скважин оборудована насосом, и вода подается в сеть в нескольких точках.

Рассмотренная выше общая схема водоснабжения (рис. 1) и ее варианты охватывают лишь наиболее часто встречающиеся случаи.

На практике приходится встречаться с большим разнообразием схем водоснабжения, вызываемым местными природными условиями и различными требованиями потребителей. В особенности это относится к схемам водоснабжения промышленных предприятий.

Большая часть изложенных выше соображений и рассмотренных вариантов может быть применена к водопроводам как населенных мест, так и промышленных предприятий. Кроме того, существуют системы водоснабжения, применяемые исключительно для промышленных предприятий.

К ним в первую очередь относится оборотная система водоснабжения. В ряде промышленных предприятий вода, используемая для технических целей, не загрязняется, а лишь нагревается (или загрязняется весьма незначительно). Это имеет место, например, при использовании воды для охлаждения машин и аппаратов, для конденсации пара и т. п.

При недостаточной мощности природного источника или большой стоимости подачи из него требуемого количества воды оказывается выгодным сбрасываемую воду охлаждать и подавать для повторного использования. При этом из источника должно добавляться только некоторое количество «свежей» воды для пополнения потерь «оборотной» воды при ее охлаждении и использовании. Количество свежей

воды обычно составляет от 5 до 8% от общего количества потребляемой воды.

Схема оборотного водоснабжения приведена на рис. 5, где *1* — насосная станция свежей воды; *2* — насосная станция «оборотной» воды («оборотного цикла»); *3* — охладительные устройства; *4* — сеть оборотной воды (*4а* — охлажденная вода из охладительных устройств и *4б* — отработанная нагретая вода); *Q* — количество оборотной воды и *q* — количество свежей воды.

В качестве охладительных устройств применяются: пруды, брызгальные бассейны и градирни. Свежая вода обычно подается в бассейн охлаждающих устройств, в котором собирается охлажденная вода. В некоторых случаях оборотную воду приходится не только охлаждать, но и подвергать предварительной очистке. Описание схем оборотного водоснабжения и условий их применения приводится в шестом разделе.

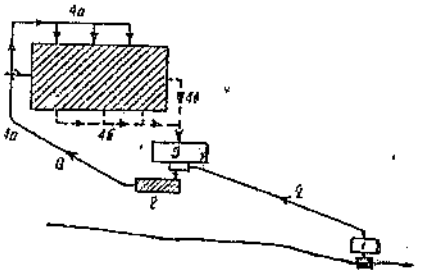


Рис. 5

Особый интерес представляют системы групповых и районных водоснабжений, при которых одна система охватывает несколько крупных объектов, иногда различного назначения (населенные места, промышленные предприятия, железнодорожные станции, сельскохозяйственные устройства и т. п.).

Обслуживание ряда объектов одной системой водоснабжения дает часто большие преимущества для каждого из них, так как значительно снижает стоимость общего водопровода по сравнению с устройством индивидуальных систем для каждого отдельного объекта. Подобное кооперирование позволяет планово, разумно и экономично решать важнейшие проблемы водоснабжения. Устройство районных водоснабжений имеет место как в нашей, так и в заграничной практике. Однако за границей объединение отдельных потребителей крайне затруднено вследствие наличия частновладельческих, часто противоречивых интересов. В СССР же для развития комплексного водоснабжения имеются исключительно благоприятные условия, созданные социалистическим плановым хозяйством.

Кроме ряда водопроводов промышленных комплексов, рассмотренных нами ранее, интересный пример районного водоснабжения курортных городов представляет водопровод Минераловодской группы на Северном Кавказе. Из заграничных районных водоснабжений представляет интерес водопровод, снабжающий г. Лос-Анжелос и группу 12 курортных городов на берегу Тихого океана (США — Южная Калифорния).

Наиболее простой, но весьма распространенной схемой групповых водоснабжений является комбинированное водоснабжение промышленного предприятия и рабочего поселка при нем.

В зависимости от характера источника в этом случае могут иметь место следующие схемы: а) источник дает воду, пригодную для промышленных целей, но требующую очистки для подачи в сеть хозяйственно-питьевого водопровода (рис. 6, *а*); б) вода в источнике пригодна для питьевых целей, но требует умягчения для применения в промышленности (рис. 6, *б*); в) источник дает воду, пригодную для обоих видов потребителей (рис. 6, *в*). Обозначения элементов водопровода те же, что и на рис. 1.

Обычно на систему водопровода возлагается также обязанность подавать воду для пожаротушения. В населенных местах хозяйствен-

ное и пожарное водоснабжение осуществляются одной системой. На промышленных предприятиях противопожарные функции выполняются или системой промышленного (технического) водопровода или, что чаще, системой хозяйственно-питьевого водопровода, устраиваемого для подачи воды рабочим и служащим во время их пребывания на производстве.

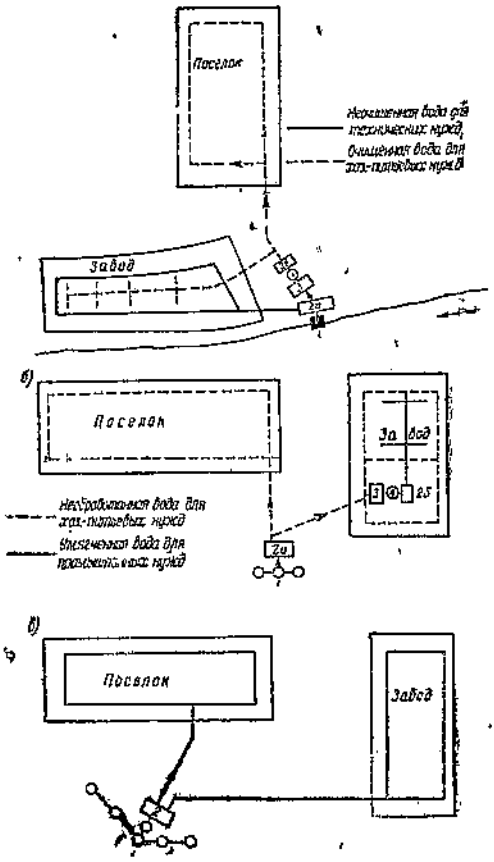


Рис. 6

Все основные системы водоснабжения могут быть классифицированы следующим образом:

1) по виду обслуживаемого объекта: а) коммунальные водопроводы (городские или поселковые), б) промышленные водопроводы (включая транспорт), в) сельскохозяйственные водопроводы;

2) по характеру используемого источника: а) водопроводы, использующие поверхностные источники (речные, озерные, из водохранилищ и морей), б) водопроводы, использующие подземные источники (грунтовые, артезианские, ключевые), в) водопроводы, имеющие смешанное питание;

3) по способу подачи воды: а) напорные, б) самотечные, в) комбинированные;

4) по числу охватываемых объектов: а) местные (для одного объекта), б) групповые, в) районные;

5) по кратности использования воды: а) прямоточные, б) оборотные.

§ 2. Нормы водопотребления

Первоочередной задачей при проектировании водопровода является определение количества воды, которое должен подавать этот водопровод.

В зависимости от характера потребителей, вода, подаваемая водопроводом, расходуется на различные нужды. Расходы эти могут быть сведены к следующим основным категориям:

а) Расход воды на хозяйственно-бытовые нужды, включающий расход воды в жилых домах, зданиях общественного назначения (банях, прачечных, больницах и т. п.); потребление воды рабочими во время пребывания их на производстве; расход воды на поливку улиц, насаждений и т. п.

2) Расход воды для производственных (технологических) целей, т. е. потребление воды различными промышленными предприятиями непосредственно для нужд производства (парообразование, конденсация пара, изготовление различных фабрикатов, промывка, охлаждение и т. п.).

3) Расход воды для пожаротушения.

Кроме того, имеет место расход воды на собственные нужды водопровода (промывка фильтров, водоприемных устройств и сети); утечку воды из сети вследствие несовершенства стыков и т. п.

В зависимости от назначения объекта и требований, предъявляемых потребителями к качеству воды, для всех указанных целей вода может подаваться одним водопроводом или же для отдельных основных категорий водопотребления могут быть устроены отдельные самостоятельные водопроводы.

В городах обычно устраивается единая система хозяйственно-противопожарного водопровода. Эта же система подает воду для хозяйственно-питьевых нужд промышленных предприятий, расположенных в городе, и воду для нужд производства тех предприятий, которые предъявляют высокие санитарные требования к воде в отношении ее качества (например для предприятий пищевой промышленности).

Вообще же для подачи воды на производственные нужды обычно оказывается целесообразным устройство отдельных самостоятельных водопроводов. Таким образом при проектировании единого городского водопровода для определения общего расхода воды должны быть учтены:

а) хозяйственно-бытовое водопотребление в жилых зданиях и в зданиях общественного назначения,

б) расход воды на поливку улиц и зеленых насаждений,

в) хозяйственно-бытовое водопотребление на предприятиях промышленности и транспорта, находящихся в черте города,

г) расход на производственные нужды предприятий, требующих воду питьевого качества,

д) расход воды на производственные нужды предприятий, для которых экономически нецелесообразно сооружение самостоятельных водопроводов для технических целей,

е) расход на собственные нужды водопровода и покрытие утечки,

ж) расход на пожаротушение.

Все перечисленные расходы, кроме последнего, являются повседневными, и подача их входит в нормальную работу водопровода; последний же расход является эпизодическим, и для его подачи требуется форсирование работы водопровода на время тушения пожара.

При проектировании объединенного водопровода промышленного предприятия (не связанного с городским водопроводом) необходимо учитывать:

а) расход воды на производственные нужды предприятия,

б) потребление воды рабочими во время их пребывания на производстве,

в) расход воды на тушение пожара,

г) расход воды на поливку и смыв полов,

д) собственный расход водопровода и утечку.

Если при заводе имеется рабочий поселок, то дополнительно должен быть учтен расход воды на хозяйственно-бытовые нужды населения и тушение пожара в поселке.

Расчетный расход воды для перечисленных потребителей воды определяется по установленным нормам водопотребления. Нормы эти дают суммарный средний за год расход воды в сутки на одного жителя или на единицу выпускаемой продукции и т. п.

Ввиду того что рост благосостояния населения, усовершенствование санитарно-технического оборудования жилищ, изменение и развитие технологического процесса промышленных предприятий влекут за собой постоянное изменение количеств расходуемой воды, нормы водопотребления периодически пересматриваются с учетом указанных изменений.

В настоящее время для определения расхода воды на хозяйственно-бытовые и противопожарные нужды городов и рабочих поселков

служат нормы, установленные стандартом НКХ РСФСР, введенным с 1 января 1940 г.[1].

Расход воды не является постоянным и меняется в течение года (по сезонам), поэтому при проектировании системы водоснабжения необходимо знать, кроме средней суточной нормы водопотребления, также и вероятную максимальную суточную норму, учитывающую возможное увеличение расхода воды.

Нормы расхода воды на одного жителя в сутки, установленные в зависимости от степени санитарно-технического оборудования зданий, приведены по ОСТ в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Характеристика санитарно-технического оборудования зданий района	Норма среднесуточного водопотребления, в *л*	Норма максимального суточного водопотребления в *л*
		$q_{ср.\ сут}$	$q_{макс.\ сут}$
1	Здания, не оборудованные водопроводом и канализацией при водопользовании из уличных водоразборов	30—50	40—60
2	Здания с внутренними водопроводом и канализацией	50—80	75—100
3	Здания, оборудованные внутренними водопроводом, канализацией и ваннами с местным нагревом	90—120	110—150
4	Здания, оборудованные также и центральным горячим водоснабжением	150—200	175—225

При этом верхние пределы норм принимаются для южных районов СССР, нижние — для северных.

Указанные нормы включают расход воды на удовлетворение всех хозяйственно-бытовых нужд населения (питье, приготовление пищи, стирка белья, мытье полов, посуды и т. п.) за исключением расхода на хозяйственные нужды промышленных предприятий и расхода на производственные нужды тех предприятий, которые будут получать воду из городского водопровода.

Нормы потребления воды для отдельных крупных городов определяются особо. Так, например, проектом реконструкции московского водопровода предусмотрена норма расхода на одного жителя в 600 *л/сутки,* из которых 100 *л* — на нужды промышленных предприятий, питающихся от городского водопровода.

Для курортов суточная норма водопотребления устанавливается в 250—400 *л* на одного курортника.

Нормы расхода воды на хозяйственно-бытовые нужды рабочих во время их пребывания на производстве приведены в табл. 2.

Таблица 2

Категория потребителей	Расходы воды на:	
	хозяйственно-питьевые нужды q' *л/смену*	на прием душа q'' *л*
На одного рабочего холодных цехов	25	40
На одного рабочего горячих цехов	35	60

[1] «Правила для проектирования хозяйственно-питьевых и противопожарных водопроводов городов и рабочих поселков», СТ-20 НКХ РСФСР.

Для определения суточного расхода воды приведенные единичные нормы должны быть умножены на расчетное число пользующихся. Так, средний (за год) суточный расход воды на хозяйственно-бытовые нужды составит:

$$S = q_{ср.\ сут} N + \sum q' N' + \sum q'' N'',$$

где N — расчетное число жителей города или поселка;

N' — общее расчетное число рабочих на производстве;

N'' — расчетное число рабочих, принимающих душ.

Это число устанавливается для каждого предприятия в зависимости от режима его работы по согласованию с санитарно-гигиеническими требованиями.

При составлении технического проекта городского водопровода принимается расчетный срок действия водопровода 5—10 лет, считая от намеченного начала строительства, и соответственно этому устанавливается расчетное число жителей N с учетом вероятного прироста за указанный срок.

Величины N' и N'' принимаются по имеющимся официальным данным в соответствии с предполагаемым развитием снабжаемых водой промышленных предприятий. Величины $q_{ср.\ сут}$, q' и q'' принимаются по табл. 1 и 2.

При выделении в проекте первой очереди строительства (1—2 года с начала строительства) нормы расхода и число жителей для определения расчетных расходов на первую очередь должны быть приняты с учетом реальных перспектив роста населения и степени благоустройства города в этот период.

В приложении 1 даны нормы расхода воды на хозяйственно-бытовые нужды в различных зданиях общественного назначения. Эти расходы включаются в нормы, приведенные в табл. 1, и могут быть использованы при расчете труб, подводящих воду к отдельным зданиям.

Удельные расходы воды на производственные нужды, определяемые по опыту работы действующих предприятий, колеблются в широких пределах. Расход воды на единицу продукции обычно бывает разным даже на аналогичных предприятиях, поскольку он зависит от типа применяемого оборудования и аппаратуры, от схемы технологического процесса и местных условий.

При составлении проекта водоснабжения расчетные расходы воды для нужд производства принимаются по указанию технологов данной отрасли. В приложении 2 даны средние нормы расхода воды на единицу продукции в различных промпредприятиях, полученные из опыта эксплоатации и позволяющие ориентировочно определить потребность промышленного предприятия в воде. При составлении технического проекта водоснабжения промпредприятия нормы эти должны уточняться в каждом отдельном случае.

В приложении 3 даны нормы расхода воды на технические нужды железнодорожного транспорта.

Расход воды для пожаротушения существенно отличается от ранее рассмотренных расходов воды. При современных средствах пожаротушения предусматривается подача воды в виде струй как из пожарных гидрантов, установленных на наружной водопроводной сети, так и из пожарных кранов, установленных на сети внутридомовых водопроводов.

Для некоторых видов зданий применяются особые противопожарные устройства, в виде спринклерных и дренчерных систем, водяных завес, лафетных стволов и т. п.

Расшолканская навукова-тэхнічная бібліятэка
МОЛЕВСКАЯ ОБЛАСТНАЯ БИБЛИОТЕКА

В зависимости от размеров города, расчетного числа жителей, огнестойкости построек, характера застройки, наличия ветров, статистических данных о пожарах за прошлые годы и т. п. устанавливается расчетная интенсивность подачи воды для тушения одного пожара, а также вероятное (расчетное) число одновременных пожаров.

Нормы расхода воды для тушения пожаров в городах и поселках согласно СТ-20 НККХ приведены в табл. 3.

Таблица 3

Категория	Численность населения в тыс. человек	Разряд							
		Каменная застройка до 2 этажей включ.		Деревянная застройка до 2 этажей включ.		Смешанная застройка по этажности и материалу		Многоэтажная застройка	
		колич. воды на 1 пожар *л/сек*	расчетное число одноврем. пожаров	колич. воды на 1 пожар *л/сек*	расчетное число одноврем. пожаров	колич. воды на 1 пожар *л/сек*	расчетное число одноврем. пожаров	колич. воды на 1 пожар *л/сек*	расчетное число одноврем. пожаров
1	До 10	10	1	10	1—2	10—15	1	10—15	1
2	10— 25	10—15	1	15—20	1—2	15—20	1—2	20	1—2
3	25— 75	10—20	2	20—30	2	20—30	2	20—30	2
4	75—200	20	2—3	20—40	2—3	20—40	2—3	30—40	2—3
5	200—350	—	—	30—40	—	30—40	2—3	40—60	2—3
6	350—500	—	—	40—60	—	40—60	3—4	60—80	3—4

При определении запаса воды, необходимого для тушения пожара, принимают локализацию пожара в течение 3 час. и последующую ликвидацию в течение 4 час. с подачей воды на ликвидацию пожара в половинном размере.

Расход воды на тушение пожаров в промышленных предприятиях определяется в зависимости от размеров площади, занимаемой промпредприятием.

С 1939 г. в СССР действуют «Общесоюзные противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий»[1], на основании которых расчетные расходы воды для тушения одного пожара на промышленном предприятии принимаются согласно табл. 4.

Таблица 4

Площадь, занимаемая предприятием, включая административную зону, без территории рабочих поселков и открытых складов огнестойких, полуогнестойких и малоценных материалов *га*	Разряд	Расход воды в *л/сек*		
		из наружных гидрантов	из внутренних пожарных кранов	всего
51—100	I	40	6	46
21—50	II	30	6	36
11—20	III	20	5	25
До 10	IV	10	5	15

[1] Комитет по делам строительства при СНК СССР, ОСТ 90015-39, 1939.

Если площадь предприятия превышает 100 *га*, то противопожарный водопровод должен обеспечивать возможность одновременного тушения двух пожаров.

В случае применения специальных устройств для тушения пожара (спринклерных и дренчерных систем, химических тушителей и т. п.) расход на них учитывается особо, однако общий расход при этом на тушение одного пожара не должен превышать 75 *л/сек*.

Глава II

РЕЖИМ РАСХОДОВАНИЯ ВОДЫ И РАБОТЫ ВОДОПРОВОДА

§ 3. Определение расчетных расходов воды

Вычисленный по нормам средний суточный расход воды городом или промышленным предприятием дает лишь общую характеристику масштаба водопотребления данного объекта. Для составления проекта водоснабжения необходимо знать возможные колебания величины расхода как в отдельные сутки года, так и в отдельные часы суток.

В населенном месте колебание величины суточного расхода воды зависит от причин, связанных с бытовыми условиями населения, климатическими условиями, сезонностью некоторых работ и т. п.

В промышленном предприятии величина суточного расхода в отдельные сутки года может изменяться в зависимости от режима работы предприятия. В ряде случаев режим работы промышленного предприятия не связан с временем года, и суточный расход воды постоянен или меняется незначительно (например целлюлозные, шерстомойные, текстильные, кожевенные заводы, где вода употребляется для промывочных целей).

На некоторых предприятиях режим расходования воды изменяется по сезонам. Так, например, расходы воды на охлаждение и конденсацию пара меняются в зависимости от температуры воды источника, и суточный расход летом больше, чем зимой.

Величина вероятного расхода воды в дни максимального водопотребления, или так называемый «максимальный суточный расход», является тем расчетным расходом, на подачу которого должен быть рассчитан проектируемый водопровод.

Опыт эксплоатации существующих водопроводов населенных мест дает материал для определения вероятных пределов колебаний суточного расхода воды в течение года и, в частности, вероятных максимальных суточных расходов.

Максимальный суточный расход может быть выражен формулой:

$$S_{max} = a_1 S,$$

где S — средний суточный расход;

a_1 — коэфициент суточной неравномерности, показывающий, во сколько раз максимальный суточный расход может превышать средний.

В нормах, существовавших до 1940 г., этот коэфициент рекомендовалось принимать:

$a_1 = 1{,}4$ для неканализованных поселков или районов города;
$a_1 = 1{,}4 \div 1{,}3$ для неполностью канализованных районов города;
$a_1 = 1{,}3 \div 1{,}15$ для канализованных районов города.

Нормы, введенные в действие с 1940 г. (СТ-20 НККХ), включают величину коэфициента суточной неравномерности в величину удельной

нормы и дают, кроме среднего расхода $q_{ср.сут}$, также и максимальный расход на человека в сутки $q_{макс.сут}$. Величины $q_{ср.сут}$ и $q_{макс.сут}$ приведены в табл. 1.

Расходование воды в течение суток в населенном месте или промышленном предприятии происходит в большинстве случаев также неравномерно.

В городах и поселках эта неравномерность зависит от режима жизни населения. В городах с незначительным числом жителей режим этот более однообразен и индивидуальные кривые потребления воды в течение суток при сложении дают суммарный максимальный расход, значительно превышающий средний. В больших городах при весьма значительном числе потребителей индивидуальные кривые более разнообразны и при суммировании дают относительно меньший пик.

Величина среднего часового расхода в дни максимального водопотребления может быть выражена следующим образом:

$$Q=\frac{a_1 S}{24}=\frac{S_{max}}{24},$$

а величина максимального часового расхода в те же дни максимального водоразбора будет:

$$Q_{max}=a_2\frac{S_{max}}{24}=a_1 a_2\frac{S}{24},$$

где a_2 — коэфициент часовой неравномерности, показывающий, во сколько раз максимальный часовой расход превышает средний.

Для населенных мест значения этих коэфициентов получаются на основании опыта работы существующих водопроводов и даются действующими нормами (табл. 5):

Таблица 5

Норма максимального суточного расхода на 1 человека в *л*	Коэфициент часовой неравномерности
40—60	1,4—2,0
75—100	1,3—1,6
110—150	1,2—1,4
175—225	1,15—1,30

Как видно из табл. 5, неравномерность потребления выше в небольших городах и ниже в крупных.

Расход воды в течение каждого часа также колеблется. Однако учет этих колебаний весьма сложен и не представляет практического интереса. Поэтому при расчете водопровода условно принимают, что расход в течение часа остается постоянным.

Исходя из такого допущения, расчетный секундный расход в час максимального водопотребления можно принять:

$$q_{max}=\frac{Q_{max}}{3600}.$$

Секундный расход обычно выражают в литрах в секунду.

§ 4. Графики водопотребления

Для проектирования водопровода недостаточно определить величину максимального часового расхода; необходимо, кроме того, иметь картину вероятного колебания расхода воды в отдельные часы суток.

Изучение режима расходования воды в населенных местах различного типа позволяет установить для них характерные графики колебания расхода воды в течение суток (графики водопотребления).

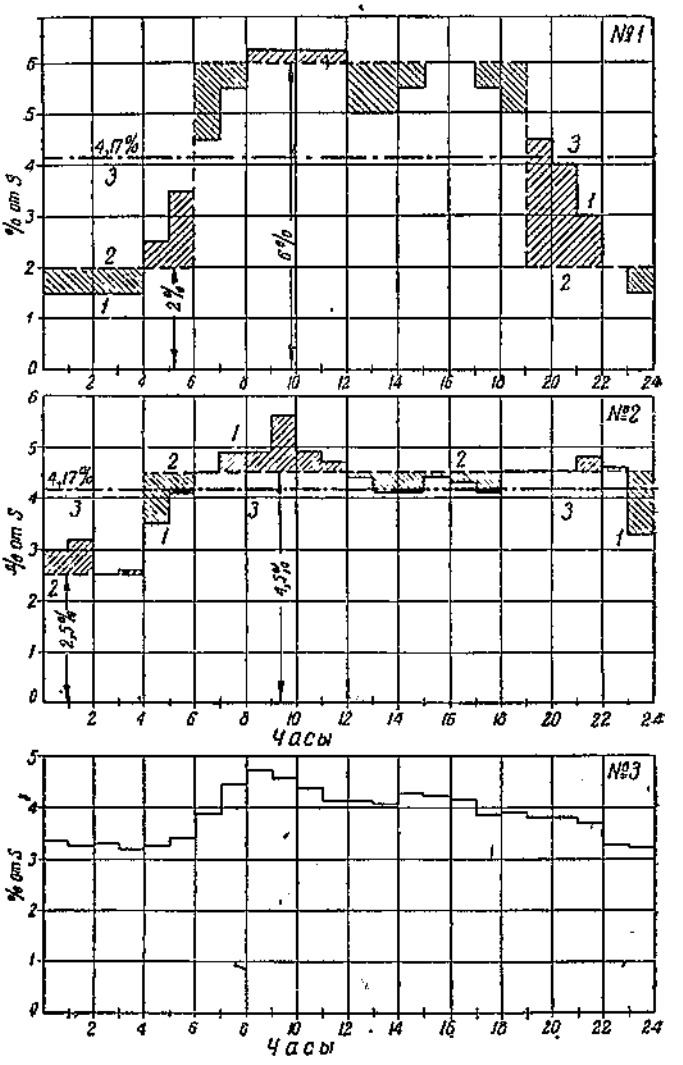


Рис. 7

На рис. 7 даны примеры таких графиков:

№ 1 — график, обычно принимаемый для водопроводов средних городов при коэфициенте $a_2 = 1{,}5$;

№ 2 — график для более крупных городов при коэфициенте $a_2 = 1{,}35$;

№ 3 — график для весьма больших городов (по проекту большого московского водопровода) при коэфициенте $a_2 = 1{,}25$.

В этих графиках по оси ординат отложены величины расходов воды в отдельные часы суток, выраженные в процентах от суточного расхода, а по оси абсцисс — часы суток.

В табл. 6 даны величины расходов в отдельные часы суток (в процентах от суточного расхода) для тех же трех примеров.

Таблица 6

Часы суток	Часовой расход в % от суточного расхода		
	водопотребление средних городов $a_2 = 1{,}5$	водопотребление более крупных городов $a_2 = 1{,}35$	водопотребление больших городов $a_2 = 1{,}25$
0—1	1,50	3,00	3,35
1—2	1,50	3,20	3,25
2—3	1,50	2,50	3,30
3—4	1,50	2,60	3,20
4—5	2,50	3,50	3,25
5—6	3,50	4,10	3,40
6—7	4,50	4,50	3,85
7—8	5,50	4,90	4,45
8—9	6,25	4,90	5,20
9—10	6,25	5,60	5,05
10—11	6,25	4,90	4,85
11—12	6,25	4,70	4,60
12—13	5,00	4,40	4,60
13—14	5,00	4,10	4,55
14—15	5,50	4,10	4,75
15—16	6,00	4,40	4,70
16—17	6,00	4,30	4,65
17—18	5,50	4,10	4,35
18—19	5,00	4,50	4,40
19—20	4,50	4,50	4,30
20—21	4,00	4,50	4,30
21—22	3,00	4,80	4,20
22—23	2,00	4,60	3,75
23—24	1,50	3,30	3,70

В приведенных графиках отношение максимальной ординаты к средней дает величину коэфициента часовой неравномерности a_2.

При проектировании новых водопроводов график колебания расхода воды принимается по аналогии с эксплоатируемым водопроводом другого города, сходного с рассматриваемым по количеству жителей, степени развития промышленности, по климатическим условиям и т. п.

График расходования воды на технические нужды принимается в зависимости от режима работы предприятий и способов получения ими воды из водопровода.

§ 5. Режим работы и связь отдельных элементов водопровода в отношении расхода и напора

Намеченными выше схемами водоснабжения фиксировались лишь наличие и взаимное расположение отдельных элементов водопроводной системы.

Размеры отдельных сооружений и установок, число и мощность насосов, емкость резервуаров, высота и емкость водонапорных башен определяются путем расчета этих элементов в соответствии с намеченным для них режимом работы.

Во всякой системе водоснабжения можно выделить основные элементы, определяющие режим работы остальных, связанных с ними водопроводных сооружений. В частности, в большинстве водопроводных систем режим работы сооружений зависит от режима работы насосных станций.

Вполне очевидно, что насосные станции (или более обще — водоподъемные устройства) должны обеспечить подачу суточного расхода воды.

Для расчета всех элементов водопровода и, в частности, водоподъемных устройств принимается максимальный суточный расход.

Режим работы водоподъемных устройств в течение суток должен быть намечен в соответствии с заданным режимом расходования воды потребителями (так называемым графиком водопотребления). График работы насосных станций составляется так, чтобы потребителю обеспечивалась круглые сутки подача необходимого количества воды под требуемым напором и при наименьшей стоимости сооружений и эксплоатации водопровода.

Рассмотрим связь между режимом работы отдельных элементов водопровода на примере схемы городского водопровода, приведенной на рис. 1. Пусть режим расходования воды городом в течение суток задан графиком водопотребления № 2 (рис. 7).

Водопроводная сеть подает воду непосредственно к водоразборным устройствам, через которые население получает воду. Следовательно, режим работы сети определяется режимом водоразбора и может характеризоваться теми же графиками.

В рассматриваемой системе вода подается в сеть насосной станцией II подъема. В большинстве современных водопроводов режим подачи воды насосной станцией не совпадает с режимом водопотребления. Это обусловливается типом оборудования насосных станций. В рассматриваемом случае на насосной станции II подъема установлены два насосных агрегата, из которых первый начинает работу в 0 час. и работает до 4 час., подавая 2,5% в час от суточного расхода (максимального); второй вступает в работу в 4 часа и работает (вместе с первым) до 24 час., подавая в час 4,5% от суточного расхода. График работы насосной станции (график подачи) при этих условиях представлен на рис. 7 (№ 2 — пунктирная линия).

Для выяснения режима работы отдельных элементов удобно совместить на одном чертеже график подачи *2* и график потребления *1*, как это сделано на рис. 7 (№ 2).

Из графика видно, что насосы дают за сутки то же количество воды, которое расходуется городом:

$$[2{,}5 \cdot 4) + (4{,}5 \cdot 20)] = 100\%,$$

однако, в отдельные часы количество подаваемой воды не равно количеству расходуемой (больше или меньше его).

При рассмотрении совмещенных графиков подачи и потребления легко уяснить роль водонапорной башни. В часы, когда подача воды насосами превышает потребление ее городом (например от 4 до 6 час.), избыток воды подается в башню. Если насосы подают Q а город потребляет Q, то — разность $Q_н - Q$ поступает в это время в башню (рис. 8, *а*). В часы, когда потребление превышает подачу (например от 7 до 12 час.), недостаток воды в размере $Q - Q_н$ пополняется из башни (рис. 8, *б*).

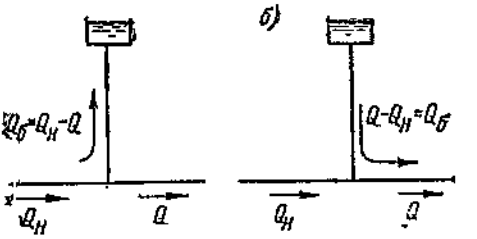


Рис. 8

Таким образом, водонапорная башня компенсирует несовпадение режимов подачи и потребления воды в отдельные часы суток, аккумулируя избыток подаваемой воды в одни часы и пополняя недостаток в другие часы.

Ниже дается способ вычисления требуемой «регулирующей» емкости бака водонапорной башни при помощи совмещенных графиков подачи и потребления.

Ясно, что чем ближе кривая подачи будет совпадать с кривой потребления, тем меньше требуемая регулирующая емкость бака и, следовательно, тем ниже будет его стоимость.

Однако приближение кривой подачи к кривой потребления практически сводится к увеличению числа ступеней графика подачи, что требует увеличения числа агрегатов насосной станции, т. е. ее удорожания и усложнения ее эксплоатации.

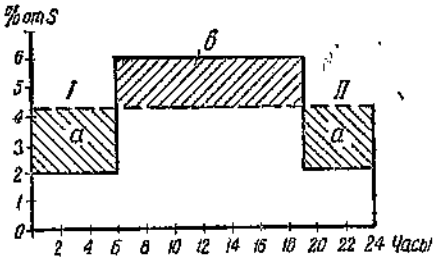


Рис. 9

В современных водопроводах, имеющих водонапорные башни, число ступеней графика работы насосных станций II подъема, т. е. число различных его ординат, обычно колеблется в пределах от одной (для малых водопроводов) до трех (для больших водопроводов).

Таким образом для рассматриваемой системы (рис. 1) режим работы сети определяется полностью заданным режимом водоразбора; режим работы водовода совпадает с режимом работы насосной станции II подъема; режим работы башни и емкость ее бака, определяются совместным влиянием режима подачи воды насосами II подъема и потребления воды городом. Следовательно, башня является элементом, разграничивающим две группы водопроводных сооружений с разным режимом работы.

Следующим элементом рассматриваемой системы, оказывающим влияние на режим работы водопровода, является насосная станция I подъема. В своей работе эта станция связана с водоприемными и очистными сооружениями и определяет их режим.

Совершенно очевидно, что размеры водоприемных и очистных сооружений зависят от количества воды, подаваемой ими в единицу времени; это количество будет тем меньше, чем больше часов в сутки будут работать эти сооружения.

Таким образом, для уменьшения стоимости водоприемных и очистных сооружений насосная станция I подъема должна работать возможно большее число часов в сутки. На станциях крупных водопроводов практически почти всегда имеет место круглосуточная и равномерная работа насосов I подъема, а следовательно, и водоподъемных и очистных сооружений. Резервуар чистой воды разграничивает две группы элементов водопроводной системы, режим работы которых определяется, с одной стороны, насосной станцией I подъема, а с другой, — насосной станцией II подъема.

Поступление воды в резервуар с очистных сооружений соответствует режиму работы насосов I подъема, а забор воды производится в соответствии с режимом работы насосов II подъема. Совмещенный график подачи и забора воды для резервуара приведен на рис. 9, и его регулирующая емкость может быть легко определена при помощи этого графика. Вследствие различных режимов работы насосов I и II подъемов требуемая регулирующая емкость резервуаров чистой воды может оказаться довольно значительной.

Регулирующая емкость резервуаров чистой воды зависит от мощности городских водопроводов и для средних условий составляет 10—15% от суточного расхода. Так как резервуары чистой воды устраиваются обычно подземными и не требуют устройства поддержи-

вающей конструкции, стоимость их на единицу объема относительно невелика.

Для полного анализа работы водопроводной системы необходимо уяснить связь между ее отдельными элементами и в отношении напоров. Насосные станции должны подавать воду потребителю не только в требуемом количестве, но и под требуемым напором.

Разбор воды происходит на некоторой высоте над поверхностью земли, поэтому в водопроводной сети должно быть обеспечено давление, необходимое для подъема воды на указанную высоту. Например, для подачи воды в верхние этажи зданий (рис. 10) в городской водопроводной сети необходимо иметь давление p (измеряемое для простоты у поверхности земли), достаточное для подъема и соответствующего излива воды из верхней водоразборной точки и для преодоления всех сопротивлений от городской трубы до точки излива включительно. Иными словами, пьезометрическая высота в точке ответвления от городской магистрали (измеряемая от поверхности земли) должна равняться сумме геометрических высот, на которые поднимается вода над этой точкой, и сумме потерь напора на пути движения воды.

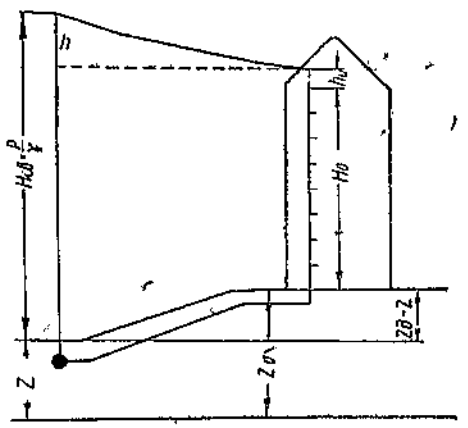


Рис. 10

Эта пьезометрическая высота в водопроводной практике обычно называется „свободным напором" $\left(\frac{p}{\gamma}=H_{св}\right.$, где p — гидростатическое давление в $кг/см^2$ и γ — объемный вес воды в $кг/см^3\left.\right)$.

Следовательно:

$$H_{св}=(Z_д-Z)+H_0+h_u+h,$$

где Z и $Z_д$ — отметки поверхности земли в точке ответвления от городской магистрали и у обслуживаемого здания;

H_0 — геометрическая высота расположения над поверхностью земли наивысшей водоразборной точки;

h — потеря напора в трубах, фасонных частях и арматуре на участке сети от точки присоединения к городской трубе до водоразборной точки (включая подводящие линии и внутреннюю сеть);

h_u — напор, теряемый при изливе.

При помощи гидравлического расчета могут быть получены величины h и h_u и, следовательно, может быть найдена величина „свободного напора" — $H_{св}$, требуемого в сети наружного водопровода.

При расчете городского водопровода принимается средняя величина $H_{св}$ для отдельных районов, имеющих различную этажность. Величина эта дается в зависимости от расчетной этажности зданий:

При	1—2-этажной	застройке	$H_{св}=12$ м
»	3 »	»	$H_{св}=16$ »
»	4 »	»	$H_{св}=20$ »
»	5 »	»	$H_{св}=25$ »
»	6 »	»	$H_{св}=30$ »
»	7 »	»	$H_{св}=35$ »

Эти величины принимаются при работе водопровода в обычное время (при отсутствии пожара).

На рис. 11 изображен вертикальный продольный разрез рассмотренной выше системы водоснабжения (рис. 1), на котором схематически показано положение пьезометрических линий.

Рис. 11 позволяет установить связь между элементами водопроводной системы в отношении напоров. Принятый в зависимости от этажности застройки минимальный свободный напор в сети должен быть обеспечен во всех точках снабжаемой территории.

Наиболее неблагоприятно расположенными оказываются точки, дальше всего отстоящие от источника питания и имеющие наивысшие отметки. В этих точках будут самые низкие пьезометрические отметки вследствие нарастания потерь напора в сети от источника питания до этих конечных точек. В точках с наибольшими высотными отметками

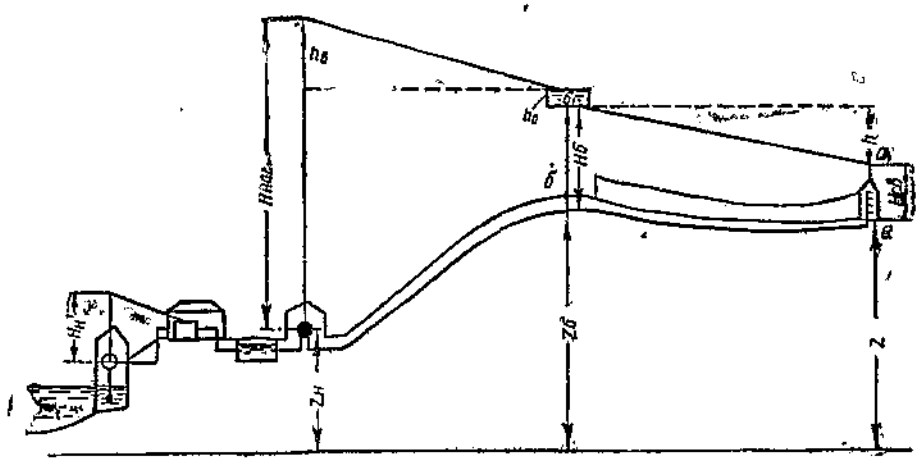


Рис. 11

разность пьезометрической отметки и отметки поверхности земли будет иметь наименьшее значение, т. е. будет наименьшей величина свободного напора. Для определения величины расчетного напора, который необходимо создать в начале сети, следует выбрать «критическую» точку сети, являющуюся наиболее неблагоприятной как в отношении ее высотной отметки, так и в отношении удаленности от источника питания. Пусть на рис. 11 такой критической точкой будет точка a — наиболее возвышенная из конечных точек сети. Отложив в этой точке величину требуемую (минимально необходимого) свободного напора $H_{св}$, получим расчетную пьезометрическую отметку критической точки сети.

Величина $H_{св}$ должна быть обеспечена в точке a в любой момент работы сети, включая момент максимального водоразбора, при котором потери напора в сети будут иметь максимальную величину. Пьезометрическая линия, показывающая падение напора в сети в часы максимального водоразбора, показана схематически на рис. 11 в виде линии $б_1 — a_1$; через h обозначена максимально возможная величина потери напора в сети на участке от башни до критической точки.

В точке $б$ должен быть обеспечен такой напор $H_б$, чтобы при максимальном уклоне пьезометрическая линия в точке a не опускалась ниже заданной величины $H_{св}$. Минимально необходимый напор $H_б$ обеспечивается расположением на соответствующей высоте дна бака водонапорной башни.

Теперь легко установить связь между напорами в отдельных характерных точках системы.

Очевидно:

$$Z_б + H_б = Z + H_{св} + h.$$

Определим отсюда расчетную высоту башни $H_б$.

$$H_б = H_{св} + h - (Z_б - Z).$$

Располагая башню на возможно более высокой отметке $Z_б$, получим при имеющихся отметках снабжаемой территории Z наибольшую величину $Z_б - Z$, а следовательно, минимальную величину $H_б$, т. е. наименьшую высоту и наименьшую стоимость башни. Поэтому водонапорную башню всегда следует располагать на высоких отметках.

На рис. 12 показано схематически изменение расположения пьезометрической линии при изменении горизонта воды в баке башни. При минимальном наполнении бака и при максимальной потере напора в сети, соответствующей моменту наибольшего водоразбора, пьезометрическая линия займет положение a_1—$б_1$. При наполнении бака башни пьезометрическая линия a_1—$б_1$ будет передвигаться параллельно самой себе и при полном баке займет положение $a'б'$.

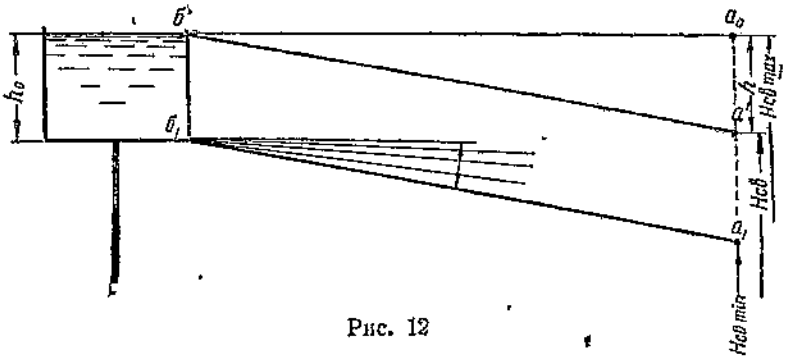


Рис. 12

При изменении величины водоразбора и, следовательно, величины h пьезометрическая линия будет вращаться вокруг точки $б_1$ или $б'$ (или промежуточных точек — в зависимости от горизонта воды в баке) и занимать различные положения вплоть до горизонтального, которое наступит при прекращении водоразбора. Все новые положения пьезометрической линии, показанные на рис. 12, дают бо́льшие величины свободного напора в конечной точке, чем расчетное положение, принятое на рис. 11.

На том же рис. 11 намечена схематически пьезометрическая линия для водовода, подающего воду от насосной станции II подъема до башни. При этом расчетным положением пьезометрической линии, диктующим величину напора насосов, будет такое, при котором конечная точка пьезометрической линии располагается на высоте максимального уровня воды в баке башни и величина потери напора в водоводе $h^в$ соответствует максимальному количеству воды, подаваемой насосами.

Напор, создаваемый насосами (по манометру на напорном патрубке насоса) будет:

$$H_{нас} = (Z_б - Z_н) + (H_б + h_0) + h_в.$$

При колебании уровня воды в баке башни эта величина может уменьшиться в пределах высоты h_0.

Подобным же образом можно установить зависимость между напором, создаваемым насосами I подъема, $H_н'$ и свободным напором, который необходимо создать у очистных сооружений (рис. 11) с учетом отметок местности и потерь напора в трубах.

Установленная таким образом связь между отдельными элементами системы водопровода полностью характеризует режим ее работы при изменении водоразбора в случае нормального хозяйственного водопотребления; при пожарах условия работы водопроводов в значительной степени меняются.

§ 6. Режим работы водопровода при пожаре

Рассмотрим пожарный режим ранее разобранной водопроводной системы. По существующим правилам проектирования водопровод рассчитывается в предположении, что пожар происходит в часы максимального водоразбора, т. е. в моменты наиболее напряженной хозяйственной работы системы. При этом хозяйственная работа водопровода (снабжение водой населения города или промышленного предприятия) не должна быть нарушена во время пожара.

Рассмотренные выше нормы дают в зависимости от размеров и назначения обслуживаемого противопожарным водопроводом объекта число одновременных пожаров, количество воды, расходуемой на каждый пожар, и расчетную длительность пожара. Эти данные позволяют определить расчетную интенсивность пожарного расхода, который должен быть прибавлен к максимальному хозяйственному (или хозяйственному и промышленному) расходу, а также общее количество воды, которое должно быть израсходовано на тушение пожара.

При расчете системы водопровода на работу во время пожара следует исходить из возможности пожара в наиболее возвышенных и наиболее удаленных от источников питания пунктах.

Современные водопроводы по способу тушения пожара разделяются на: а) водопроводы высокого давления и б) водопроводы низкого давления.

При первой системе водопровод должен обеспечить не только подачу к месту пожара установленного нормами пожарного расхода воды, но и повышение давления в сети до величины, достаточной для создания пожарных струй.

Обычно в системах высокого давления повышение напора обеспечивается лишь в период тушения пожара. В отдельных же случаях устраиваются водопроводы, в которых необходимое для создания пожарных струй давление поддерживается постоянно (так называемые водопроводы постоянного высокого давления).

При системе низкого давления водопровод должен обеспечивать лишь подачу увеличенного в связи с пожаром расхода воды. Напор для получения пожарных струй создается передвижными пожарными насосами, подвозимыми пожарной командой к месту пожара и забирающими воду из городской сети через гидранты.

При любой системе пожаротушения должен быть всегда обеспечен напор, достаточный для действия внутренних пожарных кранов.

Если вода забирается из сети передвижными насосами, то происходит понижение давления в трубах, обслуживающих прилегающие к месту пожара районы.

Согласно правилам проектирования напор в любой точке сети при этом не должен быть меньше 10 *м* (и в особенно неблагоприятных точках — меньше 7 *м*).

Системы высокого давления применяются преимущественно в водопроводах промышленных предприятий. Водопроводы постоянного высокого давления могут быть допущены только в силу особых усло-

вий, так как эти системы в эксплоатации вызывают значительный перерасход электроэнергии.

В населенных местах, согласно техническим условиям проектирования должны применяться системы низкого давления. Устройство здесь противопожарных водопроводов высокого давления должно быть оправдано специальными условиями топографического, экономического или другого характера. При этом практика показывает, что устройство водопроводов высокого давления (с временным повышенным давлением во время пожара) может быть целесообразным лишь в малых городах и поселках.

Как увидим ниже, диаметры городской водопроводной сети определяются в соответствии с режимом ее нормальной хозяйственной работы. Естественно, что при пропуске через сеть увеличенного расхода во время пожара увеличиваются скорости течения воды, а следовательно, и потери напора.

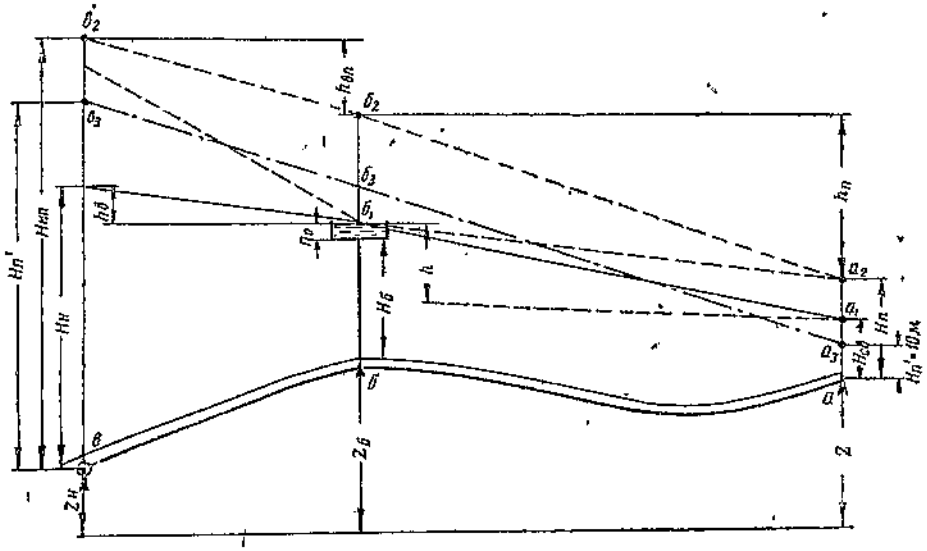


Рис. 13

Рассмотрим систему, приведенную на рис. 11, в предположении, что в точке a происходит пожар. Предположим сначала, что принята система пожаротушения высокого давления. Напор, требуемый для создания пожарных струй непосредственно из сети, всегда превышает свободный хозяйственный напор для зданий той же этажности: $H_п > H_{св}$ (рис. 13). Потеря напора в сети между точками a и $б$ вследствие увеличения расхода возрастает ($h_п > h$), и, следовательно, пьезометрическая линия для сети займет некоторое положение a_2—$б_2$—$в_2$. При этом напор, требуемый в точке $б$, будет превышать высоту башни $H_б$, полученную из расчета системы на хозяйственную работу.

Для создания требуемых в сети напоров башню при пожаре необходимо выключить. При включенной башне пьезометрическая линия получила бы излом в точке $б_1$ (рис. 13). В этом случае увеличение производительности насосов на станции II подъема не отразилось бы на работе сети и лишь вызвало бы быстрое переполнение бака башни. Очевидно, что для рассмотренной системы (при выключении башни) напор, который должны создавать насосы станции II подъема во время пожара, будет:

$$H_{нп} = (Z - Z_н) + H_п + (h_п + h_{вн}),$$

где Z — отметка земли в расчетной пожарной точке;
$h_п$ и $h_{вп}$ — соответственно потери напора в сети и водоводе во время пожара.

При системах высокого давления величины потерь $h_п$ и $h_{вп}$ всегда превышают величины потерь h и $h_в$ при хозяйственном водоразборе, и напор $H_п > H_{св}$, а следовательно, расчетный напор насосов $H_{нп}$ также всегда больше $H_н$.

Таким образом во время пожара насосная станция II подъема должна увеличить не только количество подаваемой воды, но и напор. Для выполнения этого требования в системах высокого давления на насосных станциях II подъема устанавливаются специальные пожарные насосы, включаемые при возникновении пожара взамен обычно работающих агрегатов.

Производительность пожарных насосов должна покрывать полностью максимальный хозяйственный расход воды городом Q_{max} и расчетный пожарный расход $Q_п$.

Максимальный хозяйственный расход включается в общий расчетный, поскольку башня в часы пожара не работает и не может подавать в сеть требуемых пополнений, как это имеет место в часы максимального водоразбора в обычное время.

Нормами довоенного времени установлена для расчета городских водопроводов расчетная продолжительность пожара в 3 часа. Общее количество воды, которое должно быть подано в сеть во время пожара, по этим нормам составляет $3(Q_п + Q_{max})$.

При объединенной системе хозяйственно-противопожарного водопровода может быть допущена подача в сеть лишь такой воды, которая удовлетворяет санитарным требованиям, предъявляемым к питьевой воде.

Если вода источника требует предварительной очистки, эту воду нельзя использовать для непосредственной подачи в сеть хозяйственно-питьевого водопровода и во время пожара.

Запас воды для тушения пожара при объединенной системе хозяйственно-противопожарного водопровода хранится в резервуаре чистой воды. Емкость резервуара для хранения пожарного запаса должна быть равна:

$$W_п = 3(Q_п + Q_{max} - Q_1),$$

где Q_1 — количество воды, поступающее за час в резервуар с очистной станции.

Обычно пожарную емкость резервуара чистой воды принимают с некоторым запасом равной $W = 3(Q_п + Q_{max})$.

Водонапорная башня после пуска пожарных насосов на станции II подъема при системе высокого давления не может подавать воду в сеть. До момента пуска этих насосов, в первые минуты возникновения пожара, башня является единственным источником, из которого может быть получена вода для тушения пожара в дополнение к воде, подаваемой хозяйственными насосами.

Таким образом тушение пожара в рассмотренном случае заметно отражается на изменении режима работы сети, насосной станции II подъема и резервуара чистой воды и в значительно меньшей мере — на режиме работы головных сооружений (водоприемника и насосной станции I подъема). Следует иметь в виду, что израсходованный во время пожара «пожарный запас» должен быть пополнен. Время пополнения пожарного запаса устанавливается правилами проектирования для городских и поселковых водопроводов в зависимости от расчетного числа пожаров, одновременно происходящих на территории города, и исчисляется с момента возникновения пожара.

Это время при одном пожаре не должно быть более 12 час., при двух — более 18 и при трех — более 24 час.

Пополнение пожарного запаса в указанные сроки вызывает некоторое увеличение интенсивности работы очистной станции и насосной I подъема, а следовательно, и водоприемных устройств. Таким образом эти сооружения должны быть рассчитаны для работы не только при нормальном, но и при форсированном режиме, в часы пополнения пожарного запаса.

Если вода источника благодаря своим качествам используется без очистки, а дебит источника является достаточным, то возможно получение пожарного расхода через сеть хозяйственно-питьевого водопровода непосредственно от источника.

В тех же случаях, когда форсирование отбора воды из источника (например из скважин или грунтовых колодцев) невозможно в силу недостаточной его мощности, приходится устраивать, так же как и в речных водопроводах, резервуары для хранения пожарного запаса воды с последующим постепенным его пополнением от источника, либо иметь резервные скважины и колодцы.

Рассмотрим далее режим работы водопровода (рис. 13) при системе низкого давления. В отличие от предыдущего случая во время пожара в критической точке a мы будем иметь не повышение, а понижение давления.

Приняв величину этого давления в 10 $м$ вод. ст. (минимальная допускаемая по нормам величина), получим начертание пьезометрической линии $б_3$—$а_3$, как показано на рис. 13.

Конечная точка $а_3$ пьезометрической линии при пожаре (соответствующая критической точке сети a) будет расположена ниже, чем соответствующая точка ($а_1$) пьезометрической линии при нормальной работе системы $H_п' < H_{св}$.

Уклон пьезометрической линии зависит при данной сети лишь от проводимого по трубам количества воды и, следовательно, будет в этом случае тот же, что и во время пожара при системе высокого давления, но больше, чем при работе в обычное время.

В зависимости от того, что будет больше — понижение ли пьезометрической отметки в точке пожара или увеличение потери напора в сети на участке от этой точки до башни, может получиться различное соотношение требуемых пьезометрических отметок у башни, т. е. пьезометрическая линия при пожаре может пойти выше (как показано на рис. 13) или ниже уровня воды в баке.

В первом случае башня, так же как и в системах высокого давления, должна быть выключена; во втором случае она может работать и во время пожара.

Поэтому напор, развиваемый насосами при пожаре $H_{нп}'$, может быть при системе низкого давления больше, меньше, а в частном случае равен напору насосов при работе в обычное время.

На основании изложенного могут быть намечены следующие расчетные моменты работы городских водопроводов: 1) максимальный хозяйственный водоразбор; 2) пожар в часы максимального водоразбора; 3) пополнение пожарного запаса в резервуаре чистой воды.

§ 7. Системы водопровода с контррезервуаром

На режим работы водопроводной системы и ее отдельных элементов значительное влияние оказывает принятое место расположения водонапорной башни. В рассмотренной схеме (рис. 1) башня была расположена в начальной точке сети. Весьма часто наиболее возвышенные точки территории приходятся в противоположной от насосов стороне.

Располагая водонапорную башню в этом случае на наивысших отметках, мы получаем так называемую систему водопровода с контррезервуаром, при которой башня и насосная станция II подъема проектируются в противоположных концах сети (рис. 14).

Режим работы системы при таком расположении башни будет отличаться от режима работы системы с башней в начале сети.

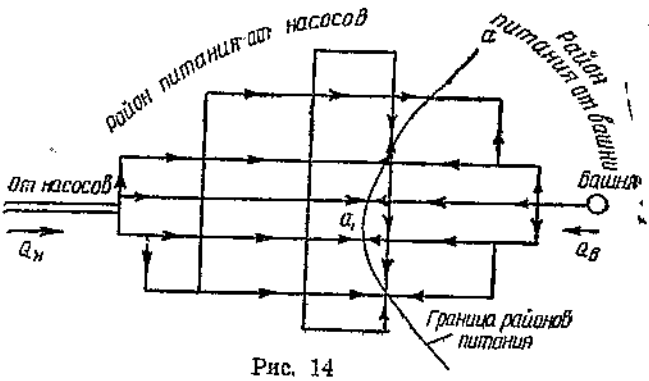


Рис. 14

Как мы видели, в часы большого и, в частности, максимального водоразбора суммарный расход воды городом Q превышает подачу насосов $Q_н$ и недостающее количество воды дополняется из башни ($Q_б$). При расположении башни в начале сети оба эти количества складывались и в начальную точку сети поступало требуемое количество воды, равное полному максимальному расходу воды городом: $Q=Q_н+Q_б$ (схема рис. 8).

В системах с контррезервуаром в часы максимального водоразбора вода в сеть будет подаваться с двух противоположных сторон: от насосов $Q_н$ и от башни $Q_б$.

Количества воды $Q_н$ и $Q_б$ определяются по совмещенному графику водопотребления и работы насосов (например, рис. 7, график № 2). Зная $Q_н$ и $Q_б$, можно наметить районы питания сети от насосов и от башни. У границы этих районов (рис. 14) будет происходить встреча потоков воды, идущих от башни и от насосов.

При таком направлении движения воды в сети изменится и расположение пьезометрических линий. Наименьшие пьезометрические отметки будут в точках, лежащих на границе обоих районов питания (линия a на рис. 14). В этих точках величина свободного напора будет наименьшей.

Критической из них явится точка, имеющая относительно наибольшую высотную отметку. Пусть это будет точка a_1 (рис. 14).

Задавшись для нее величиной требуемого минимального свободного напора $H_{св}$ (в зависимости от этажности застройки), построим (рис. 15) вправо и влево пьезометрические линии с уклоном, соответствующим величинам потерь напора при максимальном водоразборе ($h_б$ — от башни до точки a_1) и $h_н$ — от начальной точки сети (со стороны станции) до точки a_1. Величина потери напора в водоводе $h_в$, очевидно, будет та же, что и в случае системы с башней в начале сети.

Определив из расчета сети величины потерь и зная геодезические отметки, можно найти требуемую высоту расположения бака башни и величину напора насосов:

$$H_б=H_{св}+h_б-(Z_б-Z)$$

и

$$H_н=H_{св}+(h_н+h_в)+(Z-Z_н).$$

Системы с контррезервуаром имеют то преимущество, что в моменты максимального водоразбора, т. е. в моменты максимальной нагрузки сети, питание последней происходит с двух сторон, и, следовательно, расходы воды, подаваемые по трубам, уменьшаются. Это поз-

воляет несколько уменьшить диаметры труб и тем самым уменьшить стоимость сети.

Однако системы с контррезервуаром характеризуются некоторыми специфическими для них условиями работы, которые должны быть рассмотрены при расчете. Из сравнения совмещенных графиков потребления и подачи воды следует, что в некоторые часы суток количество воды, подаваемой насосами, превышает количество воды, расходуемой городом.

При расположении башни в начале сети избыточное количество воды, подаваемой насосами, идет в бак башни, совсем не поступая в сеть. В системах с контррезервуаром этот избыток, для того чтобы попасть в башню, должен, очевидно, пройти транзитом через всю сеть.

Период «максимального транзита» является дополнительным расчетным моментом работы сети с контррезервуаром. При этом пьезометрическая линия приобретает однозначный уклон на всем своем про-

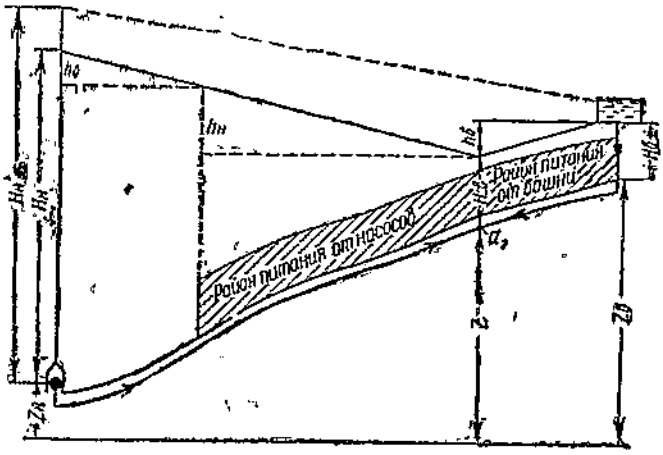


Рис. 15

тяжении; исчезает излом, существующий у границы зон питания при максимальном водоразборе, и минимальная пьезометрическая отметка получается у башни — в конечной (критической по отметкам местности) точке сети (рис. 15, пунктир).

Во время работы сети при максимальном транзите увеличиваются расчетные расходы на участках магистральных линий, близких к границе зон питания при максимальном водоразборе. Кроме того, расчетная величина требуемого напора насосов в часы максимального транзита $H_н''$ обычно получается бо́льшей, чем в часы максимального водоразбора. Таким образом для определения расчетного напора у насосов случай максимального транзита часто является критическим.

Если насосы II подъема работают не круглые сутки, то в часы остановки насосов питание сети происходит от одной башни.

В системах с контррезервуаром этот случай работы при известном рельефе местности может оказаться критическим для определения высоты башни, так как в результате обратного уклона пьезометрической линии в районах, близких к началу сети, могут получаться недостаточные свободные напоры.

В реальных условиях, в зависимости от конфигурации снабжаемой водой территории и от рельефа местности возможны случаи промежуточного расположения башни.

На рис. 16 показаны схемы расположения пьезометрических линий для различных случаев работы систем с промежуточным распо-

ложением башни (*а* — при максимальном водоразборе, *б* — при максимальном транзите).

Если башня расположена достаточно близко к началу сети, то количество воды, подаваемой насосами, может оказаться достаточным для питания всего района между насосами и башней в часы максимального водоразбора.

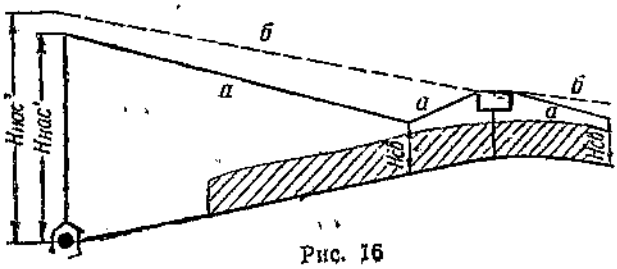


Рис. 16

Тогда не будет излома пьезометрической линии, и ее направление примет вид, как показано на рис. 17.

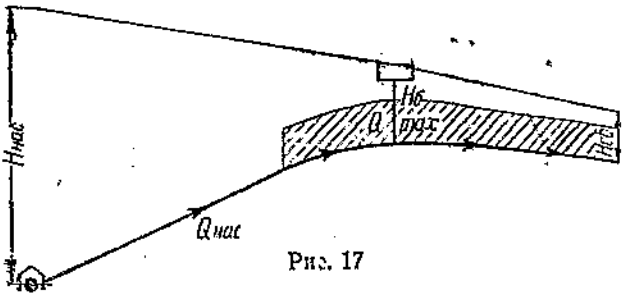


Рис. 17

В зависимости от удаленности башни от начала сети и от соотношения расходов $Q_н$ и $Q_б$ (определяемых по графику) характер пьезометрических линий и характер режима работы системы будет ближе к случаю системы с башней в начале сети или рассмотренной выше системы с контррезервуаром. Работа системы водопровода с контррезервуаром в моменты пожара носит тот же характер, что и в системах с башней в начале сети.

На рис. 18 показаны схематически пьезометрические линии для работы водопровода с контррезервуаром во время пожара при системе высокого и низкого давления.

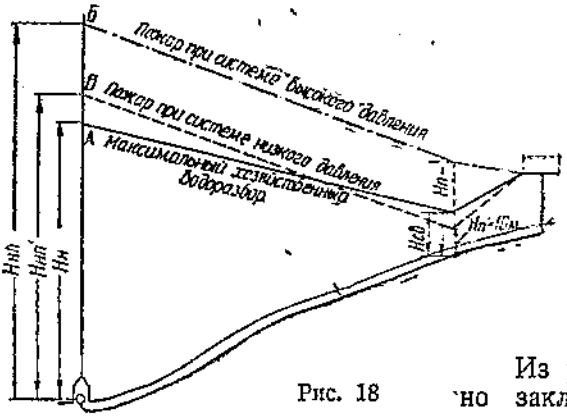


Рис. 18

Из рассмотрения этих схем можно заключить, что в водопроводах с контррезервуаром при системах низкого давления выключение башни во время пожара не потребуется; при системах высокого давления башня также не препятствует созданию требуемого напора в месте пожара. Однако, если величина требуемой пьезометрической отметки в месте пожара больше пьезометрической отметки башни, часть подаваемого насосами расхода будет поступать в башню.

В зависимости от соотношения величин $H_{св}$ и $H_н'$ а также потерь напора от насосов до точки пожара при хозяйственной и при пожарной работе системы точка B может оказаться выше или ниже точки A, т. е расчетный напор пожарных насосов может быть больше или меньше напора хозяйственных насосов.

Из всего сказанного следует, что система водопровода с контррезервуаром должна быть рассчитана на следующие условия работы: 1) максимальный хозяйственный водоразбор; 2) максимальный тран-

зит в башню; 3) питание сети из башни (при некруглосуточной работе насосов); 4) пожар в часы максимального водоразбора.

При промежуточном расположении башни, в зависимости от соотношения размеров водоотдачи на участках сети от насосов до башни и за башней, последняя может работать или как контррезервуар, или как башня в начале сети.

В рассмотренных до сего времени системах режим их работы в значительной степени зависел от наличия, роли и местоположения башни.

При достаточно равномерном водопотреблении и при установке на насосной станции центробежных насосов можно обойтись вообще без башни. Безбашенные системы имеют применение в ряде промышленных водопроводов. В таких системах количество подаваемой насосами воды должно соответствовать количеству воды, расходуемой потребителями. Это осуществимо при использовании центробежных насосов, так как они могут при постоянном числе оборотов работать в сеть с переменным расходом и даже при отсутствии водоразбора. При этом будет лишь меняться создаваемый ими напор. Применение для безбашенной системы поршневых насосов невозможно, так как подаваемый ими расход постоянен и не зависит от напора.

§ 8. Определение емкости баков водонапорных башен и резервуаров чистой воды

При помощи совмещенных графиков водопотребления и водоподачи (т. е. графика работы насосов, подающих воду в сеть) может быть легко определена расчетная регулирующая емкость бака водонапорной башни.

Покажем это на примере рассмотренных выше графиков рис. 7. Все вычисления располагаем в табл. 7 и 8.

Таблица 7

Часовые промежутки	График № 1					График № 2				
	Расход воды городом	Подача воды насосами	Поступление в бак	Расход из бака	Остаток в баке	Расход воды городом	Подача воды насосами	Поступление в бак	Расход из бака	Остаток в баке
1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
0—1	1,5	2	1,5	—	1,0	3,0	2,5	—	0,5	1,9
1—2	1,5	2	0,5	—	1,5	3,2	2,5	—	0,7	1,2
2—3	1,5	2	0,5	—	2,0	2,5	2,5	—	—	1,2
3—4	1,5	2	0,5	—	2,5	2,6	2,5	—	0,1	1,1
4—5	2,5	2	—	0,5	2,0	3,5	4,5	1,0	—	2,1
5—6	3,5	2	—	1,5	0,5	4,1	4,5	0,4	—	2,5
6—7	4,5	6	1,5	—	2,0	5,5	4,5	—	—	2,5
7—8	5,5	6	0,5	—	2,5	4,9	4,5	—	0,4	2,1
8—9	6,25	6	—	0,25	2,25	4,9	4,5	—	0,4	1,7
9—10	6,25	6	—	0,25	2,00	5,6	4,5	—	1,1	0,6
10—11	6,25	6	—	0,25	1,75	4,9	4,5	—	0,4	0,2
11—12	6,25	6	—	0,25	1,50	4,7	4,5	—	0,2	0
12—13	5	6	1,0	—	2,50	4,4	4,5	0,1	—	0,1
13—14	5	6	1,0	—	3,50	4,1	4,5	0,4	—	0,5
14—15	5,5	6	0,5	—	4,0	4,1	4,5	0,4	—	0,9
15—16	6	6	—	—	4,0	4,4	4,5	0,1	—	1,0
16—17	6	6	—	—	4,0	4,3	4,5	0,2	—	1,2
17—18	5,5	6	0,5	—	4,5	4,1	4,5	0,4	—	1,6
18—19	5	6	1,0	—	5,5	4,5	4,5	—	—	1,6
19—20	4,5	2	—	2,5	3,0	4,5	4,5	—	—	1,6
20—21	4	2	—	2,0	1,0	4,5	4,5	—	—	1,6
21—22	3	2	—	1,0	0	4,8	4,5	—	0,3	1,3
22—23	2	2	—	—	0	4,6	4,5	—	0,1	1,2
23—24	1,5	2	0,5	—	0,5	3,3	4,5	1,2	—	2,4

Таблица 8

Часовые промежутки	График № 1					График № 2				
	Расход воды городом	Подача воды насосами	Поступление в бак	Расход из бака	Остаток в баке	Расход воды городом	Подача воды насосами	Поступление в бак	Расход из бака	Остаток в баке
1	2	3	4	5	6	2	3	4	5	6
0—1	1,5	4,17	2,67	—	8,81	3,0	4,17	1,17	—	2,03
1—2	1,5	4,17	2,67	—	11,48	3,2	4,17	0,97	—	3,00
2—3	1,5	4,17	2,67	—	14,15	2,5	4,17	1,67	—	4,67
3—4	1,5	4,17	2,67	—	16,82	2,6	4,17	1,57	—	6,24
4—5	2,5	4,17	1,67	—	18,49	3,5	4,17	0,67	—	6,91
5—6	3,5	4,17	0,67	—	19,16	4,1	4,17	0,07	—	6,98
6—7	4,5	4,17	—	0,33	18,83	4,5	4,17	—	0,33	6,65
7—8	5,5	4,17	—	1,33	17,50	4,9	4,17	—	0,73	5,92
8—9	6,25	4,17	—	2,08	15,42	4,9	4,17	—	0,73	5,19
9—10	6,25	4,17	—	2,08	13,34	5,6	4,17	—	1,43	3,76
10—11	6,25	4,17	—	2,08	11,26	4,9	4,17	—	0,73	3,03
11—12	6,25	4,17	—	2,08	9,18	4,7	4,17	—	0,53	2,50
12—13	5,0	4,17	—	0,83	8,35	4,4	4,17	—	0,23	2,27
13—14	5,0	4,17	—	0,83	7,52	4,1	4,17	0,07	—	2,34
14—15	5,5	4,17	—	1,33	6,19	4,1	4,17	0,07	—	2,41
15—16	6,0	4,17	—	1,83	4,36	4,4	4,17	—	0,23	2,18
16—17	6,0	4,16	—	1,84	2,62	4,3	4,16	—	0,14	2,04
17—18	5,5	4,16	—	1,34	1,28	4,1	4,16	0,06	—	2,10
18—19	5,0	4,16	—	0,84	0,44	4,5	4,16	—	0,34	1,76
19—20	4,5	4,16	—	0,34	0	4,5	4,16	—	0,34	1,42
20—21	4,0	4,16	0,16	—	0,16	4,5	4,16	—	0,34	1,08
21—22	3,0	4,16	1,16	—	1,32	4,8	4,16	—	0,64	0,44
22—23	2,0	4,16	2,16	—	3,48	4,6	4,16	—	0,44	0
23—24	1,5	4,16	2,66	—	6,14	3,2	4,16	0,86	—	0,86

В табл. 7 дан случай ступенчатой работы насосов при графиках водопотребления № 1 и № 2 (рис. 7); в табл. 8 — случай равномерной круглосуточной работы насосов при тех же графиках водопотребления.

Величины часовых расходов даем в процентах от суточного расхода. Графы 2 и 3 заполняем данными, взятыми непосредственно с графика № 2 рис. 7. В графах 4 и 5 даем разность величин граф 2 и 3, представленную на графике ординатами между кривыми подачи и потребления.

Для заполнения графы 6 следует наметить час, когда бак не будет заполнен. Этого можно ожидать после периода максимальной по величине отдачи воды баком в течение более или менее значительного промежутка времени. В нашем случае для графика № 2 при ступенчатой работе насосов таким периодом может быть промежуток от 21 часа до 12 час. следующих суток. В этот период резервуар большей частью отдает воду, получая весьма небольшие пополнения. Предположим, что к 12 час. бак башни не будет заполнен, т. е. в графе 6 против промежутка 11—12 час. будет стоять 0. Далее, прибавляя или вычитая соответственно цифры граф 4 и 5, будем для каждого часа получать количество воды, остающейся в баке к концу каждого часового промежутка. Наибольшая из цифр графы 6, получившаяся в результате подсчета, даст величину требуемой емкости бака башни.

Если допущена ошибка при назначении часа, в который бак не заполнен водой, то некоторые из цифр графы 6 получат отрицательные значения. В этом случае нет необходимости в пересчете, так как

емкость бака будет выражаться суммой абсолютных значений наибольшей положительной и наибольшей отрицательной цифр графы 6.

В рассмотренном случае регулирующая емкость бака башни при ступенчатой работе насосов получилась равной $W_p = 2{,}50\%$ от суточного расхода. Если принять равномерную круглосуточную работу насосов, то кривая подачи получит вид прямой с постоянной ординатой $W_p = \frac{100}{24} = 4{,}167$. Эта кривая дает бо́льшие отклонения от кривой

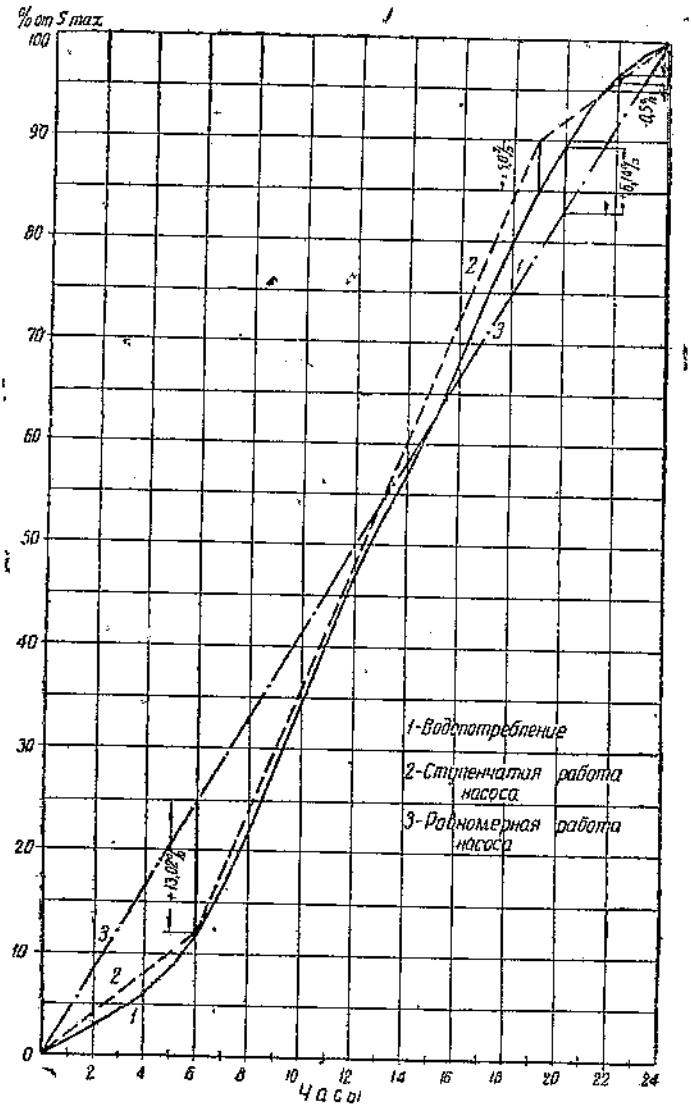


Рис. 19

потребления, чем рассмотренная кривая ступенчатой работы насосов, а следовательно, стоимость башни при равномерной работе насосов должна возрасти.

Действительно, определяя эту емкость в цифрах, получаем из табл. 8 $W_p = 6{,}98\%$.

Для графика № 1, изображенного на рис. 7, емкость бака при равномерной круглосуточной работе составит 19,16%, а при неравномерной работе по двухступенчатой диаграмме 5,5% от суточного расхода.

К полученной по расчету величине регулирующей емкости следует добавить небольшой запас 0,5—1,0% во избежание полного опорожнения бака при эксплоатации.

Практика показала, что регулирующая емкость баков в городских водопроводах составляет обычно от 2,5—3 до 5—7% при неравномерной (ступенчатой) работе насосов и 7—15% при равномерной круглосуточной работе насосов.

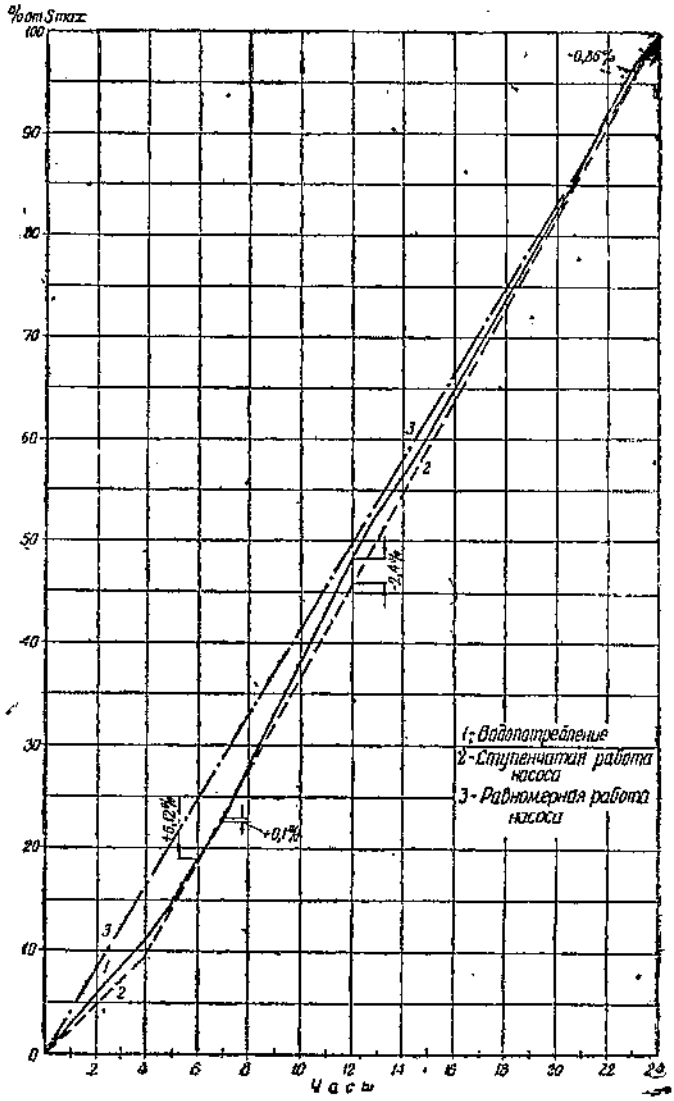


Рис. 20

Для промышленных водопроводов вследствие значительного разнообразия в режиме расходования воды величина регулирующей емкости водонапорных баков колеблется в больших пределах. На ряде предприятий режим потребления воды настолько равномерен, что водонапорной башни как регулирующего резервуара вовсе не требуется (например в водопроводах охлаждающей воды теплосиловых станций и др.).

Иногда на оси ординат графика водопотребления часовые расходы откладываются в процентах от среднего часового расхода, т. е. за еди-

ницу принимается среднечасовой расход, равный 4,167% от суточного.

Регулирующая емкость башни может быть также определена графическим путем при помощи интегральных графиков.

В рассмотренных ступенчатых графиках по оси ординат откладываются величины расходов за каждый данный часовой промежуток в процентах от суточного расхода. Ординаты же интегральных графиков дают суммарное количество воды, израсходованное с начала суток до каждого данного часа.

На рис. 19 приведен интегральный график водопотребления, соответствующий ступенчатому графику № 1 (рис. 7). Наклон интегральной кривой к оси абсцисс характеризует интенсивность расходования воды за соответствующий промежуток времени.

График подачи воды насосами также может быть представлен интегральной кривой, точнее ломаной линией, в которой точки излома соответствуют моментам изменения интенсивности подачи воды насосами, т. е. моментам пуска или остановки отдельных насосных агрегатов.

Требуемая величина регулирующей емкости бака определяется по интегральному графику как сумма абсолютных величин максимальной положительной и максимальной отрицательной разности ординат кривых подачи и потребления (рис. 19 и 20).

Если сдвинуть кривую подачи вдоль оси абсцисс (влево) так, чтобы она стала касательной к наиболее выпуклой части кривой потребления, то разности ординат будут одного знака и максимальная разность ординат непосредственно дает расчетную величину регулирующей емкости бака башни.

На рис. 20 приведены интегральные графики, соответствующие ступенчатым диаграммам № 2 рис. 7.

Результаты вычисления регулирующей емкости башни при помощи интегральных графиков совпадают с результатами, полученными выше путем вычислений по таблицам.

Таким же путем может быть определена и емкость резервуаров чистой воды.

В этом случае подача воды характеризуется кривой поступления воды с очистных сооружений, определяемой работой насосов I подъема. Кривой водопотребления в данном случае служит кривая работы насосов II подъема. При равномерной работе насосов I подъема и ступенчатой работе насосов II подъема (рис. 7, график № 1) емкость резервуара чистой воды может быть получена из совмещенного графика (рис. 9). Нетрудно видеть, что требуемая регулирующая емкость резервуара выражается в процентах от суточного расхода площадью a (или равной ей площадью $б$), т. е. 24,31%.

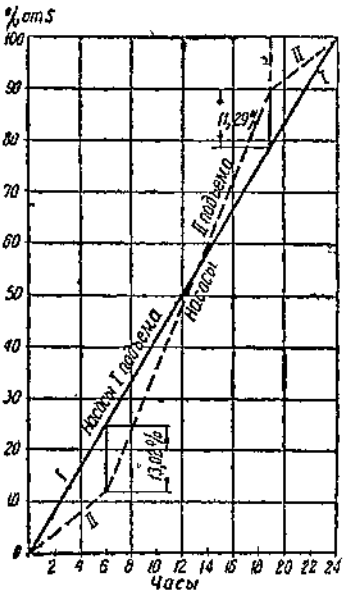


Рис. 21

Решая ту же задачу при помощи интегральных кривых, получим для того же случая регулирующую емкость как разность ординат кривых *I* и *II* (рис. 21), или точнее сумму абсолютных величин этих разностей.

Полная емкость резервуара чистой воды слагается из пожарного и хозяйственно-бытового (или производственного) запаса и запаса воды для промывки фильтров (если для этого не устраиваются самостоятельные баки).

Глава III

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ

§ 9. Назначение водопроводной сети и ее конфигурация

Назначение водопроводной сети состоит в транспортировании воды к местам ее потребления.

Водопроводная сеть является основным элементом водопроводной системы и неразрывно связана с остальными ее элементами.

Расчет сети (т. е. определение диаметров составляющих ее трубопроводов) необходимо производить с учетом взаимного влияния сети и связанных с ней элементов.

Такими элементами являются насосные станции (одна или несколько), подающие воду в сеть, а также башни или резервуары, которые могут попеременно получать из сети или подавать в нее воду.

Рационально запроектированная и рассчитанная сеть должна удовлетворять не только технико-экономическим требованиям, предъявляемым к самой сети, но и требованиям наивыгоднейшего технико-экономического решения всего расчетного комплекса: насосы — сеть — башня.

Основными требованиями, которым должна удовлетворять водопроводная сеть, являются:

а) обеспечение подачи заданных количеств воды ко всем местам ее потребления под требуемым напором; при этом должны быть выдержаны допустимые по техническим соображениям величины скоростей и давлений для намеченного типа труб;

б) обеспечение надежности и бесперебойности работы сети;

в) получение экономически наивыгоднейшего решения системы в целом, характеризуемого наименьшей величиной ежегодных затрат с учетом отчислений со строительной стоимости водопровода и стоимости его эксплоатации.

Выполнение двух первых требований достигается надлежащим выбором конфигурации сети и диаметров отдельных трубопроводов в соответствии с техническими требованиями. Последнее условие может быть удовлетворено рациональным выбором материала и конструкции сети, учетом взаимного влияния насосной станции и сети, наивыгоднейшим соотношением величин мощности насосов и диаметров труб.

Первым вопросом, который разрешают при проектировании сети, является ее трассировка, т. е. придание ей определенных геометрических очертаний.

Конфигурация водопроводной сети зависит:

1) от назначения и характера планировки снабжаемого водой объекта (промышленное предприятие или город), размещения отдельных потребителей воды, расположения проездов, формы и размеров жилых кварталов, цехов, зеленых массивов и т. д.;

2) от наличия естественных и искусственных препятствий для прокладки труб (рек, каналов, путей сообщения, оврагов);

3) от рельефа местности.

По своей конфигурации (начертанию в плане) водопроводные сети разделяются на: а) сети разветвленные или тупиковые (рис. 22), б) сети кольцевые или замкнутые, представляющие собой систему смежных замкнутых контуров или колец (рис. 23).

Разветвленные сети встречаются в некоторых системах промышленных водопроводов при подаче воды к отдельным удаленным один от другого корпусам, во временных водопроводах строительных площадок при весьма большой разбросанности отдельных объектов и иногда в небольших поселковых водопроводах.

Кольцевые сети наиболее распространены и применяются в городских и крупных промышленных водопроводах.

В некоторых случаях к основной кольцевой сети присоединяется известное количество тупиковых ответвлений, подающих воду к удаленному объекту (например к заводу, расположенному вблизи города).

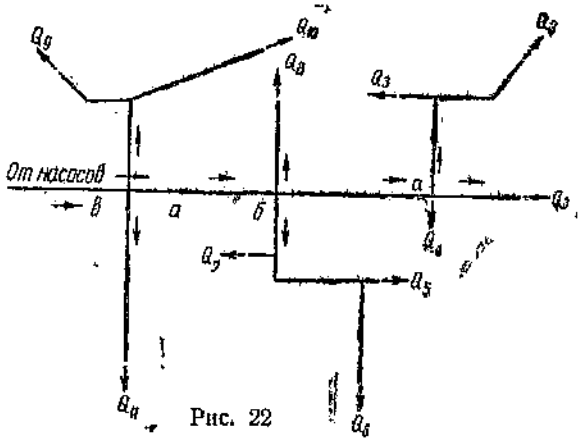


Рис. 22

Выше были сформулированы основные требования, которым должна удовлетворять водопроводная сеть, а именно: достаточная пропускная способность, надежность работы и экономичность.

Первое требование может быть удовлетворено при любой конфигурации сети. В отношении второго требования кольцевые сети имеют преимущество перед разветвленными. При аварии на головных участках разветвленной сети (например в точке *а* — рис. 22) подача воды в последующие участки прекращается; в кольцевой же сети поврежденный участок (в точке *а* — рис. 23) может быть выключен и вода будет подаваться в остальные районы сети по другим ветвям кольца. Для этого диаметры сети следует назначить с таким расчетом, что-

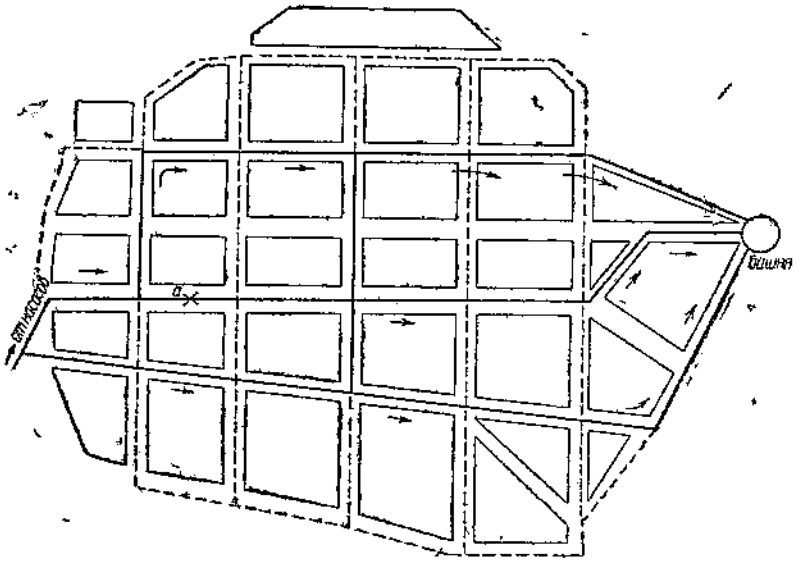


Рис. 23

бы не происходило резкого падения пропускной способности сети при выключении поврежденного магистрального участка. Гарантия бесперебойности снабжения водой отдельных точек обслуживаемой водопроводом территории особенно важна с точки зрения противопожарной работы водопровода. Поэтому органы пожарного надзора требуют применения кольцевых сетей в городских и в промышленных водопроводах, используемых для пожаротушения.

Кольцевая форма сети имеет еще то преимущество, что она в значительной мере парализует действие гидравлических ударов. Гидравлический удар в трубах представляет собой явление резкого повышения давления в сети в результате внезапного изменения скорости движения воды, в частности, при быстром закрытии запорной арматуры. В тупиковых сетях и водоводах это ведет часто к серьезным авариям и разрывам труб; в кольцевых сетях волна гидравлического удара, идя по замкнутым контурам сети, постепенно затухает.

Разветвленная сеть почти всегда дает меньшую длину линий, чем кольцевая (отсутствие замыкающих участков, имеющихся в кольцевых сетях), поэтому строительная стоимость разветвленной сети всегда меньше стоимости сети кольцевой. Выигрыш же, полученный от уменьшения диаметра магистральных трубопроводов кольцевой сети (по сравнению с сетью разветвленной), перекрывается проигрышем на увеличении длин этих магистралей.

Более углубленный технико-экономический анализ также указывает на бо́льшую экономичность разветвленной сети по сравнению с кольцевой, если учесть величину ежегодных затрат, зависящих от строительной и эксплоатационной стоимости водопровода.

Однако отмеченные выше требования достаточной надежности работы сети заставляют применять преимущественно кольцевые сети. Сети разветвленные, имеющие относительно меньшее применение, будут нами рассмотрены в первую очередь лишь потому, что расчет их, являясь элементарным, кладется в основу всех расчетов более сложных сетей. При некоторых способах расчета кольцевые сети условно приводятся к разветвленным, после чего и производится их расчет.

Во всякой кольцевой сети можно наметить основные направления движения воды, определяемые общей конфигурацией системы и местами расположения точек питания (присоединение водоводов и водонапорных башен).

В удаленные районы сети вода будет поступать в основном по системе линий, имеющих направление, указанное стрелками на рис. 23. Наоборот, линии, имеющие направление, близкое к перпендикулярному по отношению к стрелкам, почти не будут транспортировать воду, а лишь будут расходовать ее на питание прилегающих кварталов.

При назначении транзитных линий стремятся к тому, чтобы подача воды в отдаленные районы происходила кратчайшим путем. Это достигается путем рационального выбора точек присоединения сети к водоводам, соответствующего выбора места расположения регулирующих емкостей (башен или резервуаров), а также правильного выбора трассы магистральных линий, проводящих основные массы воды.

Таким образом водопроводная сеть состоит из:

а) магистральных или транзитных линий, служащих преимущественно для транспортировки воды в наиболее удаленные районы сети, и

б) распределительных линий для непосредственной раздачи воды потребителям (через домовые ответвления и водоразборные колонки).

Система основных транзитных магистралей соединяется рядом поперечных соединительных линий также магистрального значения для выравнивания загрузки основных продольных магистралей и для обеспечения надежности работы системы. В случае аварии на одной из магистральных линий кольцевой сети вода по соединительным веткам поступает в другую параллельную магистраль. Таким образом, магистральная сеть представляет собой систему смежных замкнутых колец, питающих систему мелких распределительных линий.

Расчету обычно подвергается лишь сеть магистральных линий.

Магистральные или транзитные линии наряду с транспортированием воды снабжают водой непосредственно примыкающие к ним кварталы.

При больших диаметрах магистральных линий ввиду дороговизны непосредственного присоединения к ним домовых ответвлений устраивают параллельную («сопровождающую») линию, присоединяемую к магистрали и питающую непосредственно домовые ответвления.

В водопроводах промышленных предприятий расход воды каждым цехом обычно значительно превышает расход в отдельных городских зданиях. Поэтому в заводских сетях часто нет основания делить линии на магистральные и распределительные. Вся сеть наружного водопровода в этом случае несет довольно значительную и легко учитываемую нагрузку и должна быть подвергнута расчету.

Известное влияние на выбор трассы магистралей оказывает рельеф местности. В частности, магистральные линии следует прокладывать по наиболее возвышенным точкам территории города. При этих условиях наличие достаточных свободных напоров в магистральной сети обеспечивает создание достаточных напоров и в распределительной (нерассчитываемой) сети, питающейся от магистральной и располагаемой на более низких отметках.

Места расположения регулирующих емкостей (определяемые в зависимости от рельефа местности) также оказывают влияние на выбор трассы и размеров магистральной сети. Учитывая необходимость подачи в резервуары значительных количеств воды транзитом через всю сеть (в часы максимального превышения производительности насосов над потребностью города), следует соединять насосы и башню достаточно мощными магистралями по возможности кратчайшего протяжения.

Расчет водопроводной сети заключается в определении диаметров труб и величин потерь напора при заданном водопотреблении. Первое необходимо для конструирования сети и ее устройства; второе — также для расчета других, связанных с сетью элементов — насосных станций и водонапорных башен.

Диаметры труб должны назначаться в зависимости от «расчетных расходов» воды, которые намечается подавать по этим трубам.

При выбранных диаметрах потеря напора в трубах меняется с изменением расхода. Для нахождения основных показателей, связанных с сетью сооружений — насосов и башен, необходимо определить максимально возможные величины потерь напора в сети. Следовательно, при расчете сети надо выявить самые неблагоприятные моменты ее работы, когда через сеть подается наибольшее количество воды, вызывающее максимальные потери напора.

Из приведенного выше анализа режима работы систем водоснабжения можно заключить, что водопроводная сеть должна быть рассчитана на следующие случаи работы:

1) для систем с башней в начале сети: а) на максимальный хозяйственный расход; б) на пожар в часы максимального водоразбора;

2) для систем с контррезервуаром: а) максимальный водоразбор, б) максимальный транзит в башню, в) питание сети от башни (при остановке насосов), г) пожар в часы максимального водоразбора.

Для расчета сети «на пожар» на территории города должны быть намечены наиболее неблагоприятные точки пожара. В зависимости от размеров города, растянутости его территории и характера застройки может быть намечено несколько одновременно возможных в городе пожаров (2—3 точки в разных наиболее удаленных районах города).

Ниже рассматриваются приемы гидравлического расчета сети, которые могут быть применены при любом из названных расчетных случаев ее работы.

§ 10. Расчетная схема водопотребления

Первой задачей при расчете сети является определение расчетных расходов для отдельных линий и участков сети.

Для этого прежде всего необходимо установить картину отдачи воды сетью в отдельные расчетные моменты ее работы.

Если число разборных точек невелико и в каждой точке сосредоточен определенный и значительный по величине расход воды, то в расчетной схеме водоотдачи могут быть учтены все сосредоточенные расходы. Подобная картина часто встречается в системах водопроводов промышленных предприятий, где разбор воды происходит в небольшом числе цехов.

В этом случае выявление расчетных расходов для каждого участка сети может быть произведено весьма просто.

Участком сети в таких случаях будем называть линию между двумя соседними узлами сети, например *а—б* и *б—в* (рис. 22).

Если между узловыми точками нет ответвлений или присоединений других труб, то величина расхода для всех поперечных сечений трубы данного участка одинакова.

Рис. 24

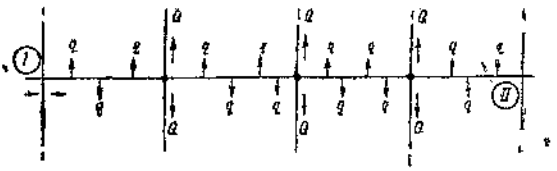


Рис. 25

В сетях городских водопроводов, где число точек отбора воды из уличной сети велико и расход в отдельных точках незначителен и по величине неопределенен, истинная картина отдачи воды сетью крайне сложна.

Вода из городской водопроводной сети отпускается потребителям через домовые ответвления, присоединяемые к трубам уличной сети на различных расстояниях одна от другой.

Рассмотрим один из участков (рис. 24) распределительной сети (между узловыми точками *А* и *Б*). К этому участку в отдельных точках присоединяются домовые ответвления, по которым будут подаваться различные по величине расходы q. Подобная картина водоразбора будет и на других участках распределительной сети.

В данном случае сеть расходует воду в большом числе отдельных точек, расположенных на различных расстояниях, и расходы, сосредоточенные в каждой такой точке, не равны между собой и неопределенны по величине, так как расходы в отдельных зданиях колеблются в отдельные моменты весьма сильно.

Расчету подвергается, как это уже указывалось, не вся городская сеть, а лишь сеть магистральных линий. Линия магистральной сети *I—II* (рис. 25) будет снабжать, кроме домовых ответвлений, еще присоединяющиеся к ней линии распределительной сети.

В этом случае схема водоразбора на отдельных участках (между узловыми точками магистральной сети) будет еще сложнее ввиду наличия двух категорий сосредоточенных расходов — расходов домовых присоединений и значительно больших расходов в местах присоединения распределительных линий.

Такова фактическая картина расходования воды в городской сети. Действительный учет сосредоточенных расходов, соответствующих всем домовым ответвлениям, даже для небольших городов (где число

ответвлений измеряется сотнями), представляет задачу практически неосуществимую.

Поэтому в городских водопроводах принимают условную расчетную схему водоразбора.

Наиболее часто расчетную схему водоразбора составляют, исходя из условия, что подаваемая в сеть вода расходуется равномерно по длине сети, и, следовательно, количество воды, расходуемой каждым участком, пропорционально его длине.

Расход, приходящийся на 1 *пог. м* длины сети, носит название удельного расхода:

$$q_{уд} = \frac{q}{\Sigma l}\left(\frac{л/сек}{пог.\ м}\right),$$

где q — общий расход воды сетью в *л/сек*;

Σl — сумма длин линий, расходующих воду, в *м*.

Если расчету подвергается только магистральная сеть, то в Σl входят длины только магистральных участков, как это обычно и принимается при расчетах сетей городских водопроводов. Однако в длину Σl не включаются линии, которые служат только для транспортирования воды; например, линии, идущие по незастроенной (и не подлежащей застройке) местности, по мостам, по площадям и т. д.

Величина удельного расхода в данном городе различна в различные моменты работы сети, изменяясь в соответствии с графиком водопотребления.

Следовательно, величина удельного расхода будет различна для каждого отдельного случая при расчете сети на максимальный расход, на максимальный транзит в башню и т. д.

В городах с различной плотностью населения в отдельных районах удельные расходы должны быть вычислены отдельно для каждого района.

Таким образом в городских сетях, рассчитываемых по методу удельных расходов, водоразборные точки заменяются «водоразборными участками», и общий расход воды городом условно разносится по отдельным участкам сети пропорционально их длине.

Расход воды каждым участком, или так называемый «путевой («попутный») расход, определяется из формулы:

$$Q_п = q_{уд} l,$$

где l — длина участка.

Почти в каждом городе имеются отдельные объекты, выделяющиеся среди остальных потребителей значительными количествами расходуемой воды. К ним относятся некоторые промышленные предприятия, получающие воду от городского водопровода, городские бани и прачечные и т. п.

Для отражения влияния крупных водопотребителей на картину водоотдачи сети их следует выделять, обеспечивая подачу в соответствующие точки сети необходимых сосредоточенных расходов. Вследствие этого в городской водопроводной сети водоразбор носит смешанный характер и включает как сосредоточенные, так и «равномерно распределенные» расходы.

Переходим к определению расчетных расходов воды.

Начнем с простейшего случая и рассмотрим сеть с незначительным числом сосредоточенных расходов. В таких сетях путевые расходы отсутствуют, так как все потребители учтены заданными сосредоточенными расходами. Количество воды, протекающей через поперечное сечение каждого участка сети, одинаково на всей его длине и является «расчетным расходом» данного участка, по которому могут быть определены диаметр трубы и потеря напора. Так, для разветвленной сети

(рис. 23) расчетный расход каждого участка равен сумме расходов, сосредоточенных в отдельных точках, лежащих за данным участком по течению воды.

Например, для участка $а — б$ расчетный расход

$$Q_р = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4.$$

Несколько сложнее происходит определение расчетного расхода для сетей, рассчитываемых по удельному расходу.

Каждый промежуточный участок такой сети, кроме „путевого" ($Q_п$), несет „транзитный" ($Q_{тр}$) расход, идущий на питание последующих участков. Из этих двух расходов, транзитный — постоянен для всех сечений рассматриваемого участка.

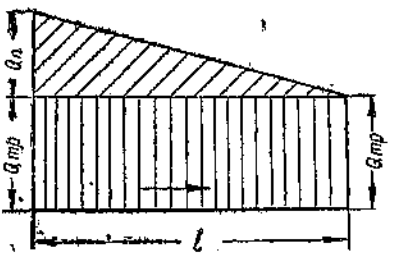


Рис. 26

Расход же, подаваемый для питания данного участка, различен в отдельных поперечных сечениях участка и меняется от величины $Q_п$ (в начальной точке) до нуля (в конечной точке участка).

Отсюда полное количество воды, проходящей по трубе, на данном участке будет:

в начале участка: $Q_{р_н} = Q_{тр} + Q_п$,

в конце участка: $Q_{р_к} = Q_{тр}$.

Это изменение расхода по длине участка может быть выражено графически диаграммой (рис. 26).

Для определения диаметра трубопровода и потери напора на данном участке должен быть принят расчетный расход (эквивалентный совместному действию путевого и транзитного расходов), который может быть вычислен по формуле:

$$Q_р = Q_{тр} + \alpha Q_п,$$

где α — переменный коэфициент, зависящий от соотношения величин транзитного и путевого расхода и от равномерности (по длине) фактического отбора воды из линии.

$Q_р$ должен давать на данном участке ту же потерю напора, которая получилась бы в результате совместного действия $Q_{тр}$ и $Q_п$.

Введя $Q_р$ вместо $Q_п$ и $Q_{тр}$, можно рассматривать данный участок как нагруженный в конце одним сосредоточенным расходом, равным $Q_р$.

Если принять, что отдача воды на данном участке сети равномерна (как это представлено на рис. 26), то величина коэфициента α будет зависеть только от соотношения путевого и транзитного расходов и колебаться в пределах от 0,5 до 0,58.

Значение α возрастает с уменьшением относительной величины транзитного расхода и уменьшается при его увеличении. Значительный удельный вес транзитные расходы будут иметь в головных участках сети, а также в коротких участках (с малой длиной l и, следовательно, малым $Q_п$). Для таких участков α близок к 0,5. Для концевых участков $Q_{тр}$ мал и α приближается к 0,58.

Тот факт, что в действительности мы имеем не непрерывное расходование воды, сосредоточенное в нескольких определенных точках (ответвлениях), не сильно отражается на величине коэфициента α. При числе ответвлений 10—15 для концевого участка α будет иметь значения около 0,59 (против 0,578 — при равномерно распределенном расходе).

Таким образом среднее значение α будет близко к 0,55. Поэтому в практике расчета водопроводных сетей для определения расчетного расхода может быть применена формула:

$$Q_p = Q_{тр} + 0{,}55 Q_n,$$

т. е. значение α принято постоянным и равным 0,55.

Для упрощения вычислений часто принимают $\alpha = 0{,}5$, т. е.

$$Q_p = Q_{тр} + 0{,}5 Q_n.$$

Последняя формула представляет практически большие преимущества, так как сокращает вычисления, давая в то же время небольшие отклонения от истины (преимущественно в тупиковых концевых участках).

Применение формулы расчетного расхода с коэфициентом $\alpha = 0{,}5$ дает весьма большие удобства также при замене путевых расходов «узловыми» [1].

Пусть некоторый n-й участок сети имеет путевой расход Q_n.

В транзитный расход предыдущего $(n-1)$-го участка, очевидно, войдут величины $Q_{тр}$ и Q_n данного n-го участка, т. е.

$$Q_{тр_{n-1}} = Q_{тр} + Q_{n_n}.$$

Но ту же картину мы получим, если разобьем путевой расход Q_n на два: расход αQ_n, приложенный в конечной точке n-го участка, и расход $(1-\alpha)\ Q_n$, приложенный в начальной его точке.

Очевидно, при такой схеме мы получим ту же величину расчетного расхода данного участка:

$$Q_{p_n} = Q_{тр_n} + \alpha Q_n$$

и транзитного расхода $(n-1$-го) участка:

$$Q_{тр_{n-1}} = Q_{тр_n} + \alpha Q_n + (1-\alpha)\ Q_n = Q_{тр_n} + Q_{n_n}.$$

Таким образом путевые расходы всех участков сети могут быть приведены к «узловым расходам» (рис. 27).

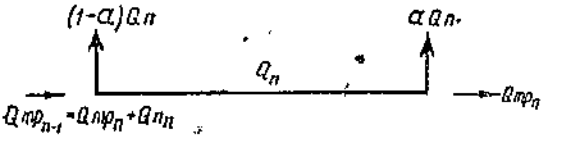


Рис. 27

Этот метод особенно удобен при пользовании формулой расчетного расхода с коэфициентом $\alpha = 0{,}5$, так как расчетный расход каждого участка делится пополам и заменяется двумя сосредоточенными расходами, равными $\frac{Q_n}{2}$ и приложенными в начальной и конечной точках участка.

При $\alpha = 0{,}5$ узловой расход каждого узла сети равен полусумме путевых расходов, примыкающих к данному узлу, т. е.

$$Q_{узл} = 0{,}5 \sum Q_n.$$

За расчетный участок для сосредоточенных расходов принимается линия, в которой расчетный расход постоянен.

---

[1] Такая замена была предложена инж. М. М Андриашевым.

При расчете по удельным расходам за расчетный участок принимается линия между двумя узловыми точками сети, т. е. линия, на которой происходит плавное изменение равномерно распределенного расхода.

§ 11. Определение диаметров труб

Диаметры труб отдельных участков водопроводной сети (D) должны назначаться в зависимости от расчетного расхода воды, проходящей по данному участку.

Формула гидравлики, связывающая площадь живого сечения ω $\left(\text{равную для круглых труб, работающих полным сечением } \frac{\pi D^2}{4}\right)$ с расходом Q, имеет вид:

$$Q = \omega v = \frac{\pi D^2}{4} v$$

и позволяет для заданного Q найти целый ряд значений D, удовлетворяющих данному уравнению.

Определив из этого уравнения $D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$, видим, что он зависит не только от расхода Q, но и от скорости движения в трубах v.

Таким образом задача нахождения диаметра по одному только расходу является неопределенной до тех пор, пока не задана величина расчетной скорости v. Выбор последней и является одним из наиболее ответственных вопросов при расчете водопроводных сетей.

Условия эксплоатации водопроводной сети дают некоторые предельные значения для скоростей, определяемых рядом технических соображений. Верхние пределы скоростей назначаются из условия предохранения сети от разрушающего воздействия гидравлических ударов, возникающих при резком изменении скорости движения воды. На основе ряда исследований явлений гидравлических ударов, возникающих при пользовании запорной и водоразборной арматурой разных конструкций и при различной конфигурации сети, большинство исследователей считает, что максимальная скорость движения воды в трубах не должна превышать 2,5—3,0 *м/сек*. При значительном протяжении сетей, принятие больших скоростей вызывает настолько значительные потери напора, что в некоторых районах свободные напоры в сети получаются больше допускаемых для труб нормального сортамента. Нижний предел скорости для водопроводной воды обычно не устанавливается. Однако в местностях с суровым климатом малые скорости способствуют замерзанию воды в трубах.

Определение рациональной величины расчетной скорости производится на основании экономических соображений. Система водопровода, как и всякое инженерное сооружение, должна быть запроектирована наиболее экономично. Ввиду того что сеть составляет основную часть этой системы, правильный с экономической точки зрения расчет ее может быть получен лишь при учете взаимного влияния сети и других связанных с ней элементов и в первую очередь насосной станции. Сущность этой связи можно пояснить на простом примере.

Пусть вода в количестве Q *л/сек* подается в башню по водоводу постоянного диаметра и заданной длины.

Из формулы $D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$ видно, что при заданном расходе Q диаметры труб изменяются обратно пропорционально квадратному корню из расчетной скорости. Если принять малую величину расчетной скорости, то водовод получится относительно большого диаметра, а следовательно, будет иметь значительную стоимость. Наоборот, при большой расчетной скорости диаметр водовода мал, и стоимость его незначительна.

Иначе говоря, стоимость водовода (и сети вообще) зависит от величины расчетной скорости и уменьшается с увеличением последней.

С другой стороны, потеря напора в трубах увеличивается с увеличением скорости движения воды. С увеличением потерь напора возрастают необходимая величина напора, создаваемого насосами $H_{нас}$, мощность насосов N $\left(N=\frac{QH_{нас}}{75\eta}\right.$, где η — коэфициент полезного действия насосной установки$\left.\right)$ и количество потребляемой энергии, а следовательно, увеличивается стоимость эксплоатации водопровода.

Строительная стоимость трубопроводов и стоимость подачи воды являются основными экономическими факторами, определяющими наивыгоднейшую скорость движения воды в водопроводной сети.

Таким образом с возрастанием расчетной скорости стоимость сети уменьшается, стоимость же подачи воды возрастает; с уменьшением расчетной скорости стоимость сети возрастает, тогда как стоимость подъема воды снижается.

На рис. 28 графически выражен характер зависимости строительной и эксплоатационной стоимостей от принятой расчетной скорости v.

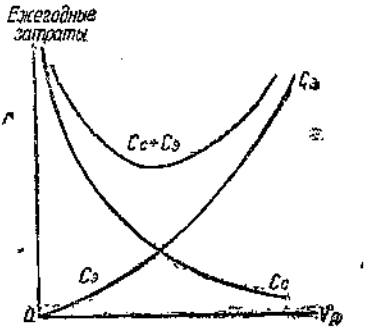


Рис. 28

Величины эти для возможности их сравнения приведены к величинам ежегодных затрат. Пусть C_c — величина ежегодных затрат (сумма годовых отчислений со строительной стоимости) и $C_э$ — годовая стоимость эксплоатации (в основном энергии, затрачиваемой на подъем воды).

Предельное значение C_c при $v=0$ равно бесконечности и при $v=\infty$ равно нулю; следовательно, кривая C_c асимптотически приближается к выбранным осям координат.

Предельное значение $C_э$ при $v=0$ равно нулю и при $v=\infty$ стоимость эксплоатации $C_э$ также приближается к бесконечности.

Следовательно, кривая $C_э$ проходит через начало координат. Экономически наивыгоднейшую скорость, при которой сумма ежегодных затрат на сооружение и на эксплоатацию водовода будет наименьшей, можно получить, сложив кривые C_c и $C_э$ и найдя абсциссу $v_э$, соответствующую минимальной ординате суммарной кривой. По этой экономически наивыгоднейшей скорости $v_э$ и должны быть рассчитаны водоводы.

Легко видеть, что даже в рассмотренном простейшем случае величина $v_э$ зависит от целого ряда местных условий (стоимость энергии, стоимость труб и их укладки, процент отчислений со строительной стоимости и т. п.).

В случаях, когда вместо водовода, состоящего из одной линии с постоянными по всей длине расходом и диаметром, имеется сеть, включающая ряд линий с различными расходами и диаметрами, задача нахождения экономически наивыгоднейших скоростей чрезвычайно осложняется.

Как показывают расчеты сети, проведенные с учетом различных экономических факторов и особенностей работы сетей различной конфигурации, единой расчетной экономической скорости, по которой можно было бы определить диаметры всех линий сети, установить нельзя. Величина экономической скорости для отдельных участков данной сети различна и зависит от величины расхода (или диаметра), от

расположения данного участка по отношению к остальным участкам сети, от конфигурации самой сети и т. д.

В главе IV приводятся вкратце основные принципы технико-экономического расчета сетей.

Ввиду значительной сложности и недостаточной изученности методов технико-экономического расчета сетей в настоящее время широко применяется упрощенный способ подбора диаметров труб по «средним» экономическим скоростям.

Эти «средние» экономические скорости получаются на основании обобщения материалов реального проектирования и технико-экономи-

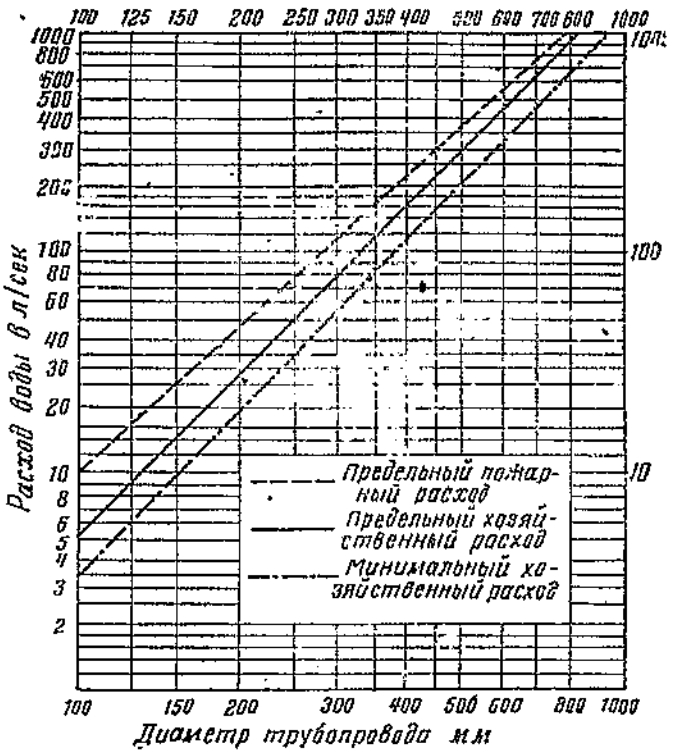


Рис. 29

ческих расчетов. При этом следует подчеркнуть, что нахождение диаметров труб по этим скоростям является только первым приближением к экономически наивыгоднейшему решению.

В практике наших проектных организаций и в ряде специальных работ по водоснабжению величину «средней экономической скорости» обычно принимают в следующих пределах: для малых диаметров $v = 0{,}7 \div 1{,}0$ *м/сек;* для больших диаметров $v = 1{,}0 \div 1{,}4$ *м/сек.*

Так как «экономическая» расчетная скорость зависит в основном от расхода, удобнее даже при упрощенных расчетах выражать «экономический» диаметр непосредственно в функции расхода. Формулы, дающие такую зависимость, имеют вид:

$$D = CQ^x,$$

где C — коэфициент, зависящий от экономических факторов.

Проф. Лобачевым (по данным Flaman и на основе анализа проектов водопроводов ряда городов СССР) составлен график (рис. 29), позволяющий ориентировочно назначать диаметры по расходу. График дает величины экономических диаметров лишь приближенно, так как

не учитывает ряда факторов, влияющих на установление окончательных диаметров.

Диаметр каждого участка водопроводной сети может быть определен по расчетному расходу приближенно по средней экономической скорости либо более точно, путем надлежащего технико-экономического расчета. При этом для определения экономически наивыгоднейших (или близких к ним) диаметров необходимо принимать расходы, имеющие место при нормальной работе сети, так как именно эта работа определяет эксплоатационные затраты в течение ряда лет.

При пожаре, правда, возникает необходимость подачи в сеть увеличенного количества воды, но так как пожар продолжается в течение сравнительно небольшого отрезка времени, работа сети во время пожара не может существенно отразиться на экономике системы. Следует иметь в виду, что годовая затрата энергии на подачу пожарного расхода чрезвычайно мала по сравнению с расходами на подачу воды в обычное время.

Поэтому в формулы для определения экономически наивыгоднейших диаметров пожарные расходы обычно не вводят.

Так как в момент пожара расходы в сети возрастают, то, очевидно, возрастут и скорости движения воды (при диаметрах, определенных исходя из расходов на хозяйственные нужды). Однако экономически наивыгоднейшие скорости, как правило, лежат ниже технически допустимых скоростей. Поэтому при расчете сети на пропуск пожарного расхода допускается повышение скоростей сверх экономических с тем, однако, чтобы не были превышены технически допустимые для данных условий работы величины скоростей.

§ 12. Определение потерь напора

При определении потерь напора в сетях наружных водопроводов обычно определяются только потери напора на трение в трубах.

Наружные водопроводные сети даже при большой длине имеют сравнительно мало фасонных частей и арматуры, и поэтому потери напора на местные сопротивления незначительны по сравнению с потерями на трение и отдельно не учитываются.

Величины скоростей обычно допускаемых в водопроводных трубах, обусловливают наличие в них турбулентного движения воды.

Для круглых труб, работающих полным сечением при турбулентном движении, как известно из гидравлики, применяются следующие основные формулы потерь напора на трение:

$$h = \lambda \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{l}{D}, \qquad (1)$$

или при замене v через Q

$$h = k \frac{Q^2 l}{D^5}, \qquad (2)$$

где v — скорость движения воды;
Q — расход;
l — длина трубы;
D — диаметр трубы;
λ и k — коэфициенты трения, зависящие, в свою очередь, от величин v и D, а также от материала труб и степени их шероховатости и определяемые обычно на основании опытных данных по экспериментальным формулам;
g — ускорение силы тяжести.

Так как полная величина потери напора в трубе пропорциональна ее длине, удобно пользоваться величинами потерь напора на единицу длины:

$$i=\frac{h}{l} \quad \text{или} \quad i=\lambda\frac{v^2}{2gD}, \tag{3}$$

или

$$i=k\frac{Q^2}{D^5}. \tag{4}$$

Величины λ и k могут быть выражены через коэфициент C из формулы Шези:

$$v=C\sqrt{Ri},$$

где R — гидравлический радиус;

i — гидравлический уклон (потеря напора на единицу длины).

Коэфициенты (λ, k и C) являются величинами, принципиально тождественными, и отличаются один от другого только благодаря разной структуре формул; коэфициенты эти связаны между собой определенным соотношением и могут быть всегда взаимозаменяемы

$$\left(\lambda=\frac{8g}{C^2};\quad k=\frac{64}{\pi^2C^2}\right).$$

Из целого ряда существующих формул для расчета водопроводной сети должна быть выбрана такая формула, которая при данных реальных условиях может дать наиболее точные результаты. Одни из существующих формул дают более точные значения потерь для труб малых диаметров, другие — для труб больших диаметров; одни из формул более точны для труб с большой шероховатостью, другие — для гладких труб и т. д. В свою очередь шероховатость зависит от материала труб, от продолжительности их службы, от качества воды. Поэтому часто даются указания, что данная эмпирическая формула пригодна для металлических труб, а иная для деревянных (или из других материалов); одна — для новых, другая — для старых (бывших в употреблении) труб.

В водопроводной практике СССР в настоящее время имеет большое распространение формула Маннинга (Manning). Эта формула представляет собой развитие формулы Туттона (Tutton) и предложена Маннингом в 1890 г.

Формула дает следующее выражение для коэфициента C из формулы Шези:

$$C=\frac{1}{n}R^{1/6},$$

где n — коэфициент шероховатости, зависящий от характера стенок трубы, взятый Маннингом из формулы Гангилье-Куттера (Ganguillet-Kutter) и определяемый по опытным данным;

R — гидравлический радиус.

Заменив в формуле Шези R через диаметр, получим:

$$i=\left(\frac{10{,}293}{D^{0{,}33}}n^2\right)\frac{Q^2}{D^5},$$

где Q выражено в $м^3/сек$ и D — в $м$.

Для чугунных труб, бывших в употреблении (т. е. для обычного состояния эксплоатируемых сетей городских водопроводов), наиболее близкие к истине результаты получаются при значении коэфициента $n=0{,}012$; подставив это значение в последнюю формулу, получим окончательно:

$$i=0{,}001482\frac{Q^2}{D^{5{,}33}}. \tag{5}$$

В таком виде эта формула пользуется у нас большой известностью и является наиболее распространенной формулой для расчета водопроводных сетей.

Коэфициент трения $\left(\text{в данном случае } k=\frac{10{,}293}{D^{0{,}33}}n^2\right)$ в этой формуле выражен лишь в зависимости от диаметра данного вида труб; влияние же скорости не учтено. Это не влияет существенно на точность формулы, так как в практике расчета водопроводных систем диаметры меняются в значительно бо́льших пределах, чем расчетные скорости.

Формула Маннинга может быть применена не только для расчета чугунных труб, но и для расчета труб из других материалов, если принять другие значения n: так, для сварных стальных труб $n = 0{,}011$ при малых и 0,012 при больших диаметрах; для новых асбоцементных труб $n = 0{,}010$; для железобетонных труб, изготовленных в деревянной опалубке, $n = 0{,}013$ при диаметре до 1 000 *мм* и $n = 0{,}014$ при диаметрах от 1 000 до 3 000 *мм*; для деревянных клепочных труб $n = 0{,}011$ при диаметрах до 1,0 *м* и 0,012 при бо́льших диаметрах.

Потери напора обычно определяются по формулам или таблицам, составленным для $n = 0{,}012$; для других значений n вводятся исправочные множители:

при $n = 0{,}010$	множитель	0,694
$n = 0{,}011$	„	0,840
$n = 0{,}012$	„	1,000
$n = 0{,}013$	„	1,117
$n = 0{,}014$	„	1,360

В США весьма распространенной является эмпирическая формула Вильямса и Хезена (Williams a. Hazen), дающая следующее выражение коэфициента C:

$$C = C_0 R^{0{,}13} i^{0{,}04} \cdot 0{,}01^{-0{,}04},$$

где C_0 принимается в зависимости от рода труб.

После приведения к виду $i = k\frac{Q^2}{D^5}$ эта формула получает следующую транскрипцию:

$$i = \left(\frac{C'}{D^{0{,}17} v^{0{,}15}}\right)\frac{Q^2}{D^5},$$

где C'—коэфициент, зависящий от рода стенок трубы ($C' \approx \approx 4{,}9 C_0^{-1{,}85}$).

Как видим, эта формула учитывает влияние на величину коэфициента трения как диаметра, так и скорости.

На основе этой формулы Вильямс и Хезен составили вспомогательные таблицы, удобные для практических расчетов.

Обе приведенные формулы содержат опытные коэфициенты, зависящие от характера стенок, но не дающие никакой численной характеристики степени шероховатости.

Новейшие работы в этой области, в особенности работы Прандтля-Никурадзе, дали более точный подход к определению влияния шероховатости стенок на величину потери напора.

В этих работах коэфициенты трения определяются в зависимости от так называемой „относительной шероховатости" стенок, представляющей отношение $\frac{\delta}{r}$, где r — внутренний радиус трубы, а δ — средняя высота выступов на шероховатой поверхности стенок („абсолютная шероховатость").

Для турбулентного движения (где λ зависит от степени шероховатости стенок) Никурадзе дал общую формулу вида:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = a + b \lg \left(Re\sqrt{\lambda}\right) + c \lg \frac{r}{\delta},$$

в которой a, b и c — коэфициенты, зависящие отношения $\frac{r}{\delta}$,

Re — число Рейнольдса.

При обычно принятых скоростях движения воды в городских водопроводах и при реальных величинах δ для чугунных водопроводных труб можно принять, что трубы всех применяемых диаметров могут быть отнесены к области вполне шероховатых труб.

Для этой области Никурадзе дает следующие значения коэфициентов: $a = 1{,}74$; $b = 0$ и $c = 2{,}0$.

Тогда

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \left(\frac{r}{\delta}\right) + 1{,}74$$

или

$$\lambda = \frac{1}{\left[2 \lg \left(\frac{r}{\delta}\right) + 1{,}74\right]^2}.$$

Величина потери напора на единицу длины может быть выражена по Никурадзе в виде:

$$i = \lambda \frac{v^2}{2gD} = \frac{1}{\left[2 \lg \left(\frac{r}{\delta}\right) + 1{,}74\right]^2} \cdot \frac{v^2}{2gD}$$

или

$$i = k \frac{Q^2}{D^5} = \frac{0{,}08262}{\left[2 \lg \left(\frac{r}{\delta}\right) + 1{,}74\right]^2} \cdot \frac{Q^2}{D^5}.$$

Как указывалось, близкие к истине результаты для чугунных водопроводных труб, бывших в употреблении, дает формула Маннинга с коэфициентом $n = 0{,}012$. Величина потерь напора h, определяемая по этой формуле, весьма близко совпадает с величинами потерь, определяемыми по формуле Никурадзе при $\delta = 1{,}0$ *мм*.

Для малых диаметров чугунных труб значения h, подсчитанные по обеим формулам, почти полностью совпадают: с увеличением диаметра разница между значениями h несколько возрастает.

Это подтверждает возможность использования формулы Маннинга при трубах наиболее часто применяемых диаметров.

При расчете сети приходится вычислять потери напора для значительного числа участков при различных диаметрах труб и расходах.

Для облегчения вычислений на практике используют не непосредственно приведенные выше формулы, а составленные по ним таблицы или номограммы, или применяют упрощенные методы вычисления по тем же формулам.

В формуле Маннинга (5) потеря напора на единицу длины участка выражена в функции лишь двух величин Q и D. Это позволяет построить таблицы величин i для различных Q и D. В табл. 9, представляющей собой выдержку из таблиц, составленных проф. Н. Н. Гениевым для каждого диаметра (в миллиметрах), можно найти при любом расходе Q (в литрах) величину потери напора (100 i) на 100 *м* длины трубопровода (в метрах).

По таблицам может быть проведен также подбор диаметров, если предварительно заданы или приняты величины расчетных скоростей v.

Таблица 9

D мм / *Q л/сек*	100		125		150		200		250		300	
	100 *i* *м*	*v* *м/сек*	100 *i* *м*	*v* *м/сек*	100 *i* *м*	*v* *м/сек*	100 *i* *м*	*v* *м/сек*	100 *i* *м*	*v* *м/сек*	100 *i* *м*	*v* *м/сек*
10,0	3,20	1,27	0,973	0,81	0,367	0,57	0,078	0,32	0,024	0,20	0,0090	0,14
10,5	3,53	1,34	1,070	0,86	0,405	0,59	0,087	0,33	0,026	0,21	0,0098	0,15
11,0	3,87	1,40	1,180	0,90	0,445	0,62	0,096	0,35	0,029	0,22	0,0109	0,16
11,5	4,22	1,47	1,290	0,94	0,496	0,65	0,105	0,37	0,032	0,23	0,0119	0,16
12,0	4,60	1,53	1,400	0,98	0,529	0,68	0,114	0,38	0,035	0,24	0,0129	0,17
12,5	4,99	1,59	1,520	1,02	0,574	0,71	0,124	0,40	0,038	0,25	0,0141	0,18
13,0	5,40	1,66	1,640	1,06	0,621	0,74	0,134	0,41	0,041	0,26	0,0152	0,18
13,5	5,82	1,72	1,770	1,10	0,670	0,76	0,144	0,43	0,044	0,28	0,0164	0,19
14,0	6,26	1,78	1,910	1,14	0,721	0,79	0,155	0,45	0,047	0,29	0,0177	0,20
14,5	6,72	1,85	2,050	1,18	0,773	0,82	0,166	0,46	0,051	0,30	0,0189	0,20
15,0	7,19	1,91	2,190	1,22	0,827	0,85	0,177	0,48	0,054	0,31	0,0202	0,21

Так, например, если принять расчетную скорость $v = 1{,}0$ *м/сек* (табл. 9) — для расхода в 12,5 *л/сек*, то получим диаметр труб 125 *мм* ($v = 1{,}02$ *м/сек*); при этом потеря напора на 100 *м* длины трубы составит $100\,i = 1{,}52$. При длине участка, например, 400 *м* полная потеря напора в нем будет:

$$h = \frac{1{,}52 \cdot 400}{100} = 6{,}08 \text{ м}.$$

Весьма удобно для тех же целей пользоваться номограммами.

На рис. 30 приведена такая номограмма, представляющая собой незначительное видоизменение номограммы, составленной проф. В. Г. Лобачевым по формуле Маннинга при $n = 0{,}012$. Номограмма построена на основе следующих принципов.

Если формулу для определения потери напора на единицу длины („гидравлического уклона") $i = \left(\frac{k}{D^{5{,}33}}\right) \cdot Q^2$ прологарифмировать, то получим:

$$\lg i = \lg\left(\frac{k}{D^{5{,}33}}\right) + 2 \lg Q,$$

отсюда:

$$\lg Q = \frac{1}{2} \lg i - \frac{1}{2} \lg\left(\frac{k}{D^{5{,}33}}\right).$$

Так как $\frac{k}{D^{5{,}33}}$ есть величина, постоянная для каждого определенного диаметра труб, то полученное уравнение при построении на логарифмической сетке для каждого диаметра представляется прямой линией. В указанной номограмме на оси абсцисс отложены величины потерь напора i, а на оси ординат расходы Q в *л/сек*. Линии с подъемом вправо соответствуют различным диаметрам D, а линии с подъемом влево — скоростям движения воды v.

Найдя на оси ординат заданный расход Q, проводят через него горизонтальную линию до встречи с соответствующей линией диаметра; проведя от точки встречи вниз вертикаль, находят на оси абсцисс величину потери напора на единицу длины i. Кроме того, видно, что точка пересечения проведенной горизонтальной линии и линии диаметра лежит между двумя значениями скоростей (в некоторых слу-

чаях может лежать на одной из линий скоростей). Путем интерполяции можно определить скорость движения воды при данном расходе и принятом диаметре. При необходимости подбирать диаметры при заданной расчетной скорости на номограмме по заданному расходу выбирают такую линию диаметра, которая дает пересечение с горизонталью расхода в пределах, ближайших к заданной скорости.

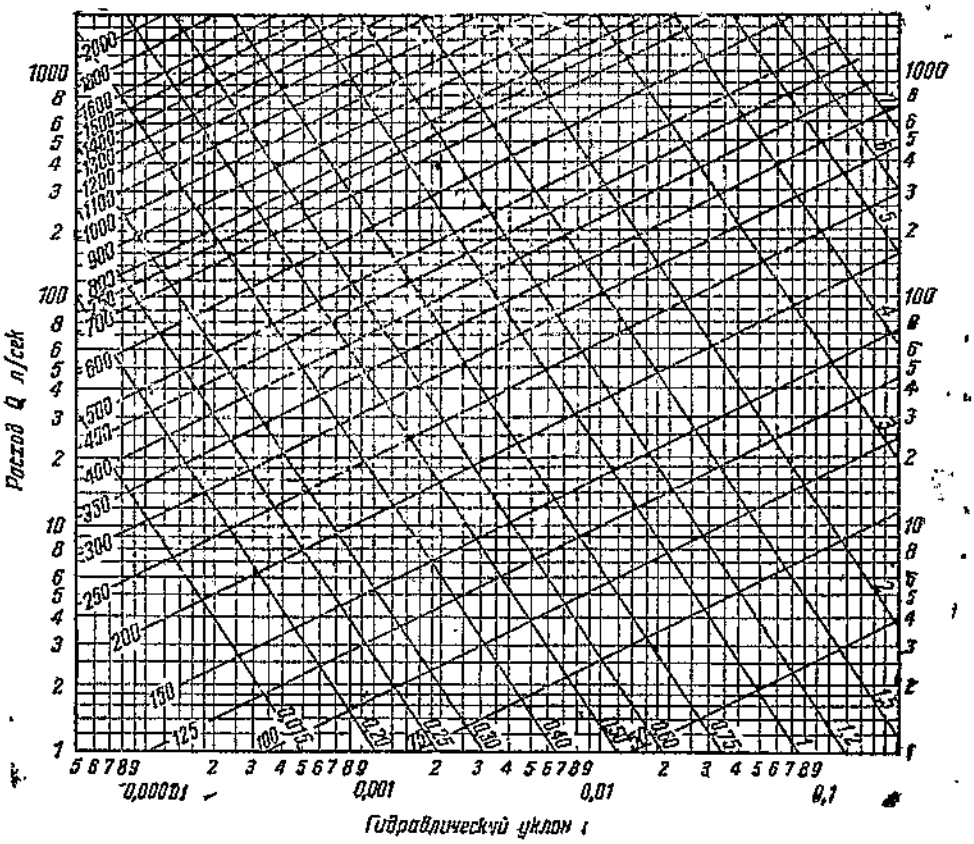


Рис. 30

Кроме пользования указанными таблицами или номограммами, потери напора можно определять, пользуясь сокращенными таблицами некоторых характерных коэфициентов.

Так, обозначив в формуле (5) величину $\frac{0{,}001482}{D^{5{,}33}}$ через A, получим $i = AQ^2$.

Величина A носит название «удельного сопротивления» и, являясь функцией диаметра, может быть заранее вычислена для труб всех диаметров, изготовляемых по сортаменту.

Таблицы величин A для чугунных и стальных водопроводных труб нормального сортамента даны в приложении 4.

Взяв из этих таблиц величины A и умножив их на квадрат расхода Q^2, можем получить потерю напора на единицу длины.

Эти вычисления весьма удобно проводить при помощи счетной линейки.

При помощи такого же приема могут быть определены и величины потерь напора на всю длину участка

$$h = il = AlQ^2$$

или

$$h = sQ^2.$$

Величина $s = Al$ зависит от диаметра и длины трубы и может быть названа по аналогии с законами электротехники «сопротивлением» линии или участка длиной l с удельным сопротивлением A.

§ 13. Гидравлический расчет разветвленных сетей

В разветвленной сети при условии питания ее с одного конца вода может быть подана к каждой водоразборной точке лишь с одной стороны.

Поэтому для разветвленной сети расходы воды, проходящие по отдельным ее участкам (линейные расходы), определяются просто и единственно возможным образом. Каждый участок сети будет проводить по направлению от начальной точки питания сети к ее конечным точкам расход, равный сумме расходов, отдаваемых водоразборными точками, лежащими за данным участком по направлению движения воды.

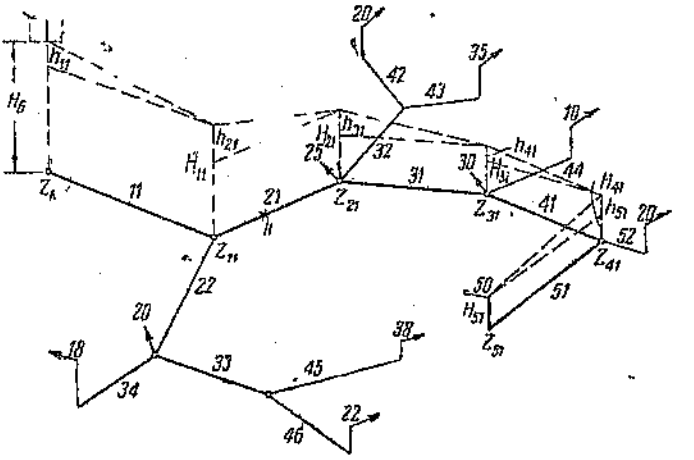


Рис. 31

Покажем порядок расчета разветвленной сети, представленной на рис. 31.

Заданными являются обычно величины расходов, сосредоточенных во всех узловых точках сети (включая конечные точки), и величины требуемых свободных напоров в конечных точках. Требуется же определить диаметры всех участков и потери напора в них.

Линейный расход любого участка сети равен сумме линейных расходов всех участков, присоединяющихся к конечной точке данного участка плюс узловой расход, сосредоточенный в этой точке.

Формулируя иначе то же положение, можно сказать относительно любого узла разветвленной сети: расход, проходящий к узлу, равен сумме расходов, уходящих от этого узла, включая узловой.

Основным отличием разветвленной сети от кольцевой является то, что в разветвленной сети к любому узлу будет подаваться всегда лишь один линейный расход, тогда как в кольцевой сети к одному узлу могут подаваться два или несколько линейных расходов. Благодаря этому свойству разветвленной сети можно при заданных в конечных точках расходах, идя от этих точек к началу сети, определить линейные расходы всех участков.

После того как намечены линейные расходы всех участков, могут быть определены диаметры участков, а по известным расходам и диаметрам — потери напора всех участков.

Однако в разветвленной сети потери напора на отдельных участках при заданных свободных напорах в конечных точках связаны между собой определенным соотношением, а именно:

$$H_к + z_к = H_н + z_н - \sum h,$$

т. е. пьезометрический напор (сумма свободного напора $H_к$ и высотной отметки $z_к$) в любой конечной точке сети равен пьезометрическому напору в начальной точке сети $H_н + z_н$ минус сумма потерь напора Σh в линии, соединяющей эти точки.

В первую очередь обычно производится расчет главной магистрали, соединяющей начальную точку с наиболее удаленной и возвышенной конечной точкой.

Задача расчета может быть поставлена двояко: а) напор в начальной точке не задан, но свободные напоры во всех конечных точках заданы, б) напор в начальной точке и свободные напоры в конечных точках заданы.

В водопроводной практике обычно имеет место первый случай.

Предположим, что для сети, представленной на рис. 31, заданы величины свободных напоров в конечных точках H и требуется определить диаметры сети и высоту водонапорной башни $H_б$. Все участки занумерованы двумя цифрами, из которых первая обозначает порядок участка по его удаленности от башни, а вторая — номер участка данного порядка.

В первую очередь рассчитывается главная магистраль (линия *11—21—31—41—51*). По найденным линейным расходам всех участков магистрали определяются их диаметры и затем по таблицам — удельные потери напора i и полные потери напора h.

Сложив последние, получим сумму потерь напора в магистрали Σh. Тогда искомая высота водонапорной башни:

$$H_б = (z_{51} + H_{51}) + \sum h - z_б,$$

где

$$\sum h = h_{11} + h_{21} + h_{31} + h_{41} + h_{51}.$$

В результате расчета магистрали получаются величины напора в начале сети и напоров во всех узловых ее точках. Поэтому потери напора в ответвлениях не могут быть выбраны произвольно и должны удовлетворять требованию, чтобы сумма потерь напора от узловой точки магистрали до конца каждого ответвления была равна разности пьезометрических напоров этого узла магистрали и конечной точки ответвления.

Например, для линий *22*, *33*, *45* сумма потерь напора должна равняться величине:

$$\sum h = H_{11} + z_{11} - (H_{45} + z_{45}).$$

Может быть найдено множество значений потерь напора h на отдельных участках ответвления, удовлетворяющих этому равенству.

Решение задачи о правильном распределении потерь напора на отдельных участках, а следовательно, о форме пьезометрической линии, осуществимо лишь путем технико-экономического расчета сети.

Решая задачу приближенно, для определения диаметра ответвлений можно задаться условно равномерным падением давления по длине ответвления; тогда гидравлический уклон i для всех участков будет одинаков и равен:

$$i = \frac{\Sigma h}{\Sigma l},$$

где Σl — суммарная длина ответвления.

Из таблиц или номограмм находятся диаметры (существующие в сортаменте), дающие ближайшее к полученному по расчету значение i при данном Q. В результате величина i, а следовательно, и величина h для отдельных участков будут отличаться от предварительно намеченных. Однако при этом должно быть соблюдено непременное условие, по которому сумма потерь напора при выбранных диаметрах $\Sigma h_{пр} \leqslant \Sigma h$, для того чтобы в конечной точке сети был обеспечен необходимый свободный напор.

При таком расчете ответвлений надо следить, чтобы на всех участках скорости не превышали технически допустимых.

Ниже приводится пример расчета разветвленной сети, показанной на рис. 31.

В табл. 10 даны значения расходов в конце каждого участка, длин всех линий, требуемых свободных напоров и высотных отметок.

Таблица 10

№ линии	Q *л/сек*	l *м*	H *м*	z *м*
11	—	600	—	78,0
21	25	300	—	76,0
22	20	500	—	74,0
31	30	250	—	75,0
32	—	300	—	74,5
33	—	400	—	70,0
34	18	100	25	65,0
41	—	400	—	73,0
42	20	300	25	71,0
43	35	100	25	71,0
44	10	500	20	70,0
45	38	300	25	68,0
46	22	180	25	67,0
51	50	600	20	72,0
52	20	200	20	72,5

Рассчитываем в первую очередь самую длинную магистраль *11—51*. Все вычисления сведены в табл. 11.

Пьезометрический напор в конечной точке магистрали будет $H_{51}+z_{51}=20+72{,}0=92{,}0$ *м*. Прибавляя последовательно к этой величине потери напора на участках магистрали, получим пьезометрические отметки узловых точек магистрали (помещенные в табл. 11).

Высота башни в этом случае будет:

$$H_б=(H_{51}+z_{51})+\sum h-z_б=92+10{,}78-78=24{,}73\ м.$$

В проектах водоснабжения эта величина при назначении строительных размеров обычно округляется.

Переходим к определению диаметров ответвлений.

Пьезометрическая отметка конечной точки участка *52* должна быть равна $72{,}50+20=92{,}50$ *м*; располагаемый напор для определения сопротивлений на участке равен разности пьезометрических отметок в начальной и конечной точках участка. Первую из этих величин берем из расчета магистрали. Следовательно, располагаемый напор для участка *52* будет:

$$(z_{41}+H_{41})-(z_{52}+H_{52})=95{,}61-92{,}50=3{,}11\ м.$$

Гидравлический уклон: $i_{52}=\frac{3{,}11}{200}=0{,}0155$, или $100i=1{,}55$ *м*.

Таблица 11

№ участка	Длина l м	Расход Q л/сек	Диаметр D мм	Потери напора: на 100 м 100 i м	Потери напора: на весь участок $h=il$ м	Скорость v м/сек	Пьезометрические отметки в конечных точках $z+H$	Свободный напор H м
			Магистраль					
51	600	50	250	0,601	3,61	1,02	92,0	20
41	400	70	300	0,440	1,76	0,99	95,61	22,61
31	250	140	350	0,488	1,22	1,14	97,37	22,37
21	300	190	450	0,378	1,14	1,19	98,59	22,59
11	600	288	500	0,500	3,00	1,48	99,73	21,73
					$\Sigma h=10,73$ м			
			Ответвления					
52	200	20	150	1,47	2,94	1,13	92,67	20,17
44	500	10	125	0,973	4,86	0,81	93,73	23,73
32	300	55	300	0,263	0,79	0,76	97,80	23,30
42	300	20	200	0,318	0,64	0,64	97,16	26,16
43	100	35	200	0,97	0,97	1,10	96,83	25,83
22	500	80	300	0,574	2,87	1,13	95,86	22,86
33	400	60	300	0,328	1,29	0,85	95,57	25,57
45	300	38	250	0,347	1,04	0,77	94,53	26,53
46	180	22	150	1,79	3,23	1,25	92,34	25,34
34	100	18	125	3,15	3,15	1,47	93,71	28,71

Ближайший диаметр D находим из таблиц проф. Н. Н. Гениева при $Q=20$ *л/сек*, $D=150$ *мм*; при этом 100 $i=1,47$ *м* и $v=1,13$ *м/сек*, т. е. скорость не превышает технически допустимой величины.

Переходим к установлению действительной потери напора на участке и свободного напора в его конечной точке; в данном случае свободный напор: 95,61—2,94—72,50=21,17>20 *м*, т. е. больше заданного, и, следовательно, полученный диаметр может быть оставлен.

Подобным же образом рассчитываем участок *44*.

Ответвления, состоящие из нескольких участков (например *22—33—45*), рассчитываются так: общий располагаемый напор

$$(H_{11}+z_{11})-(H_{45}+z_{45})=99,73-(68+25)=6,73 \text{ м};$$

$$100i=\frac{6,73}{l_{22}+l_{33}+l_{45}}=\frac{6,73}{12}=0,56 \text{ м}.$$

По этой величине и расходу определяем диаметры участков, действительные потери и свободные напоры в конечных точках. Результаты расчета всех ответвлений даны в табл. 11.

Таким образом определяются диаметры всех участков сети и проверяется достаточность свободного напора во всех конечных точках.

Если напор в начальной точке разветвленной сети задан, то расчет главной магистрали следует производить по среднему гидравлическому уклону, как это имело место в разобранном примере для отдельных ответвлений.

§ 14. Гидравлический расчет кольцевых сетей

При расчете кольцевой сети заданными являются: а) конфигурация сети, б) длины всех линий и в) расходы (отдача) воды отдельными линиями или в отдельных точках.

При расчете кольцевых сетей для простоты считают, что путевые расходы на отдельных линиях заменены эквивалентными им узловыми расходами.

В разветвленной сети заданной конфигурации, при фиксированных в отдельных точках расходах, количества воды, проходящие по отдельным участкам сети, определенны и по величине и по направлению. При последовательном соединении участков, как это имеет место в разветвленных сетях, изменение диаметра отдельных участков может лишь потребовать изменения величины напора, необходимого в начале сети для подачи заданных количеств воды; соотношение же расходов по отдельным участкам останется неизменным.

В отличие от этого в кольцевой сети при заданной конфигурации и величине узловых расходов можно наметить бесконечное множество вариантов распределения транзитных потоков воды по сети для удовлетворения поставленных требований. Так как отдельные участки кольцевой сети включены не только последовательно, но и параллельно, изменение диаметра одного из участков влечет перераспределение потоков воды во всех остальных участках.

Поэтому при расчете кольцевой сети в общем виде неизвестными будут как диаметры, так и линейные расходы (проходящие по определенным участкам), тогда как при сетях разветвленных неизвестны только диаметры. Для отыскания этих неизвестных должно быть составлено надлежащее число уравнений.

Рассмотрение законов движения воды по сети, состоящей из системы смежных замкнутых колец, дает два условия или два положения, позволяющих составить необходимое число уравнений для определения искомых неизвестных.

1) Сумма линейных расходов, приходящих к любому узлу, равна сумме линейных расходов, уходящих от этого узла, плюс узловой расход.

Если условно считать расходы q, приходящие к узлу, положительными и уходящие от узла (включая узловые)—отрицательными, то данное положение можно кратко формулировать так: «алгебраическая сумма расходов для любого узла сети равна нулю»:

$$\sum q = 0. \qquad (I$$

2) В каждом замкнутом контуре сети (кольце) сумма потерь напора на участках, где движение воды совершается по часовой стрелке (по отношению к данному контуру), равна сумме потерь напора на участках, на которых вода движется против часовой стрелки.

Если первые потери назвать условно положительными, а вторые — отрицательными, то это положение можно кратко формулировать так: «алгебраическая сумма потерь напора в любом кольце сети равна нулю»:

$$\sum h = 0 .$$

Эти положения аналогичны законам Кирхгофа для сетей, проводящих электрический ток.

Интересно отметить, что распределение потоков в кольцевой сети, при котором соблюдается последнее равенство, соответствует минимуму количества энергии, расходуемой на преодоление потерь на трение в трубах.

Так как потеря напора является функцией расхода и диаметра:

$$h = k\frac{q^2 l}{D^5} \quad \text{или} \quad h = sq^2,$$

уравнения равенства нулю потерь напора в кольце могут быть переписаны в виде:

$$\sum k\frac{q^2 l}{D^5} = 0 \quad \text{или} \quad \sum sq^2 = 0, \qquad \text{(II)}$$

где q — линейные расходы на всех участках данного кольца.

В этих уравнениях неизвестными являются не только q и D, но и k. Однако в наиболее часто употребляемых формулах k, а следовательно, и s выражается в функции диаметра. При пользовании формулами этого типа, подставив вместо k его выражение через D, получим опять лишь два неизвестных: q и D, причем изменится только показатель степени величины D.

Таким образом в кольцевой сети каждый участок дает два неизвестных: диаметр и расход, а следовательно, общее число неизвестных равно удвоенному числу участков сети.

Число уравнений определяется указанными выше двумя положениями: каждый узел сети (кроме замыкающего, представляющего тождество) дает одно уравнение типа:

$$\sum q = 0$$

и каждое кольцо дает одно уравнение типа

$$\sum h = \sum sq^2 = 0.$$

Следовательно, число возможных уравнений равно числу колец плюс число узлов без одного. При этом каждое тупиковое ответвление или каждый сосредоточенный расход или приток рассматривается как узел.

Рассматривая геометрические свойства кольцевой сети, можно установить определенную связь между числами ее элементов, т. е. между числом колец, узлов и участков.

Обозначив число колец через n, число узлов через m и число участков через p, получим, что при любой конфигурации сети остается неизменным следующее соотношение:

$$n + m = p + 1,$$

т. е. сумма числа колец и числа узлов равна числу участков, увеличенному на единицу, или

$$p = n + m - 1.$$

Это положение может быть выведено как следствие из теоремы Эйлера о соотношении числа граней, вершин и ребер выпуклых многогранников.

На основании сказанного при расчете кольцевой сети число неизвестных принимается равным удвоенному числу участков, т. е. $2p$ (p расходов и p диаметров), или согласно полученным соотношениям

$$2p = 2(n + m - 1).$$

Число же возможных уравнений равно сумме числа колец и числа узлов без единицы, т. е. только $n + m - 1$.

Таким образом число возможных уравнений вдвое меньше числа неизвестных, а следовательно, в общем виде задача расчета кольцевой сети является неопределенной.

Гидравлика не дает решений для подобных уравнений, и они могут быть составлены, исходя из технико-экономических соображений, т. е. из условий наименьшей стоимости сети и ее эксплоатации.

Для решения подобной задачи, очевидно, необходимо или найти дополнительно p условий, связывающих неизвестные (т. е. составить недостающие уравнения), или задаться значениями лишних неизвестных.

Поэтому при чисто гидравлическом расчете сети приходится задаваться лишними неизвестными. Как видим, в качестве таких могут быть приняты или p расходов или p диаметров. Однако из анализа написанных выше уравнений вытекает, что диаметры и расходы входят в них не симметрично, и поэтому не безразлично, какой категорией неизвестных при расчетах задаваться.

Величины диаметров теоретически могут быть выбраны произвольно при условии сохранения картины водоразбора и обеспечения подачи в сеть требуемых количеств воды. Принятым диаметром будет соответствовать совершенно определенное и единственно возможное распределение потоков воды по сети, т. е. единственно возможные значения линейных расходов.

При заданных диаметрах возможно совершенно точное решение задачи о распределении расходов по сети; искомые расходы q (числом $p = n + m - 1$) находятся путем совместного решения системы $n + m - 1 = p$ уравнений [(I) и (II)], из которых n уравнений содержат q во второй степени [уравнение (II)] и $m - 1$ уравнений линейных относительно q [уравнение (I)].

Таким образом поверочные расчеты сетей с существующими или заданными диаметрами — задача, совершенно определенная.

Если вместо диаметров задаться расходами по всем участкам, то, очевидно, принять совершенно произвольно величины расходов нельзя. Эти величины прежде всего должны удовлетворять равенствам, даваемым уравнениями типа (I).

Подобрав все же величины расходов, удовлетворяющие этим равенствам и подставив их в уравнения типа (II), можно получить значения диаметров D, удовлетворяющие условию равенства потерь напора в кольцах. Однако в этом случае пришлось бы решать уравнения пятой степени относительно q (или степени 5,33—при пользовании формулой Маннинга).

Кроме того, если бы даже удалось, определить из этих уравнений величины диаметров, необходимых для удовлетворения равенства типа (II), то при отсутствии точно таких диаметров в сортаменте пришлось бы заменять их ближайшими бо́льшими или меньшими. В результате же такой замены уравнения типа (II) опять нарушились бы и пришлось бы снова искать при новых диаметрах измененные величины расходов, удовлетворяющие как уравнению (II), так и уравнению (I).

Отсюда следует, что гидравлический расчет сетей необходимо вести, задаваясь величинами диаметров. Однако выбор диаметров отдельных участков сети не может быть произведен совершенно произвольно, так как диаметр в известной мере зависит от проводимого трубой расхода. В разделе экономических расчетов сетей показана возможность отыскания вида этой функциональной зависимости для различных случаев.

Для назначения диаметров в зависимости от расходов, как сказано выше, могут приниматься некоторые средние экономические расчетные скорости.

По этим скоростям или непосредственно по расходам обычно и назначаются предварительно величины диаметров участков рассчитываемой кольцевой сети.

Процесс гидравлического расчета кольцевой сети сводится к следующему:

1) сеть принятой конфигурации разбивается на участки; определяются длины всех участков;

2) определяются путевые расходы на всех участках и намечаются точки всех реальных сосредоточенных расходов; в наиболее распространенных методах расчета все путевые расходы приводятся к узловым расходам;

3) намечается предварительно желательное направление потоков воды по отдельным ветвям сети, соответствующее принципу подачи по кратчайшему пути транзитных расходов для питания удаленных районов; при назначении расходов по отдельным линиям сети должны быть соблюдены уравнения типа (I);

4) по предварительно намеченным расходам назначаются диаметры всех участков рассчитываемой сети по принятым средним экономическим скоростям или при помощи формул и графиков, непосредственно связывающих диаметр с расходом;

5) производится собственно гидравлический расчет сети, т. е. определяются величины действительных расходов по линиям сети при назначенных диаметрах, при условии соблюдения уравнений (II), т. е. уравнений сходимости потерь напора. Так как при этом величины расходов обычно получаются отличными от предварительно намеченных, то автоматически уравнения типа (I) не удовлетворяются. Задача сводится, как выше указано, к решению системы p уравнений, из коих n — типа (II) и $(m-1)$ — типа (I).

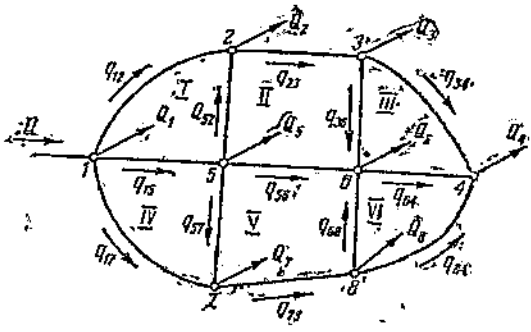


Рис. 32

Поясним все сказанное на примере шестикольцевой сети, показанной на рис. 32.

В данном случае число узлов $m = 8$ и число участков $p = 13$.

Таким образом условие $p = n + m - 1$ здесь соблюдено.

Наметив указанное на рисунке направление движения потоков воды, можем написать 8 уравнений типа (I) для всех узлов сети:

$$\text{для узла } 1\text{: } Q - q_{12} - q_{15} - q_{17} - Q_1 = 0;$$

$$\text{» » } 2\text{: } q_{12} + q_{52} - q_{23} - Q_2 = 0$$

и т. д.

Одно из этих уравнений для начального или конечного узла—обращается в тождество и мы имеем $m-1$, т. е. 7 независимых уравнений.

Далее, для каждого кольца мы можем написать уравнения типа (II), т. е. всего шесть уравнений:

$$\text{для кольца } I\text{: } s_{12}q_{12}^2 - s_{52}q_{52}^2 - s_{15}q_{15}^2 = 0;$$

$$\text{» » } II\text{: } s_{52}q_{52}^2 + s_{23}q_{23}^2 + s_{36}q_{36}^2 - s_{56}q_{56}^2 = 0$$

и т. д.

Определив D по намеченным предварительно расходам, можно перейти к гидравлическому расчету сети.

Задача эта может быть решена, как уже сказано, путем решения системы 7+6=13 уравнений. Неизвестными будут 13 расходов воды по отдельным участкам сети. Однако решение системы многих уравнений, содержащих неизвестные во второй степени [уравнения (II)], представляется в общем виде неразрешимой задачей. Поэтому практически за-

дачу гидравлического расчета сети решают различными приближенными способами.

Рассмотрим следующие три метода гидравлического расчета кольцевой сети: 1) метод повторных попыток; 2) метод инж. М. М. Андриашева (являющийся усовершенствованным видоизменением первого метода); 3) метод аналитический — при помощи решения системы линейных уравнений. Последний метод предложен впервые в СССР проф. В. Г. Лобачевым и несколько позже (независимо от него)—проф. H. Cross в США (с некоторым видоизменением).

Так как задача гидравлического расчета сетей практически обычно сводится к перераспределению потоков воды по сети и переброске расходов по отдельным линиям для соблюдения уравнений типа (II) (т. е. условий равенств потерь напора во всех кольцах), процесс этот носит название «увязки кольцевой сети» или «увязки колец».

§ 15. Расчет кольцевых сетей по методу повторных попыток

Рассмотрим применение различных методов расчета кольцевой сети на примере семикольцевой сети, показанной на рис. 33. В данном случае башня расположена между насосами и сетью, поэтому питание сети происходит с одной стороны.

В такой системе с изменением расхода воды потребителями будет меняться лишь величина уклона пьезометрической линии, но не ее знак.

Расчетным будет случай максимального водоразбора, при котором потери напора в сети имеют наибольшую величину.

Максимальный часовой расход воды в рассматриваемом случае составляет 6 120 *м*³, что дает, считая расход в течение часа постоянным, 170 *л/сек*, из них 63 *л/сек* расходуются сосредоточенно в точках *3, 7, 12* и *15*.

При одинаковой плотности населения по всей территории города можно считать, что удельный расход одинаков для всего города и составит:

$$q_{уд} = \frac{Q}{\Sigma l} = \frac{170 - 63}{10\,700} = \frac{107}{10\,700} = 0{,}01 \ \frac{л/сек}{м},$$

где $\Sigma l = 10\,700$ *м*.

Зная длины каждого участка, получаем путевые расходы для каждого из них:

$$Q_п = q_y l.$$

Величины эти приведены в графе 4 расчетной табл. 12 (для участков, являющихся общими для нескольких колец, свойственные им величины приводятся в таблице один раз и в других кольцах не повторяются).

Задаемся далее распределением транзитных потоков воды по сети, исходя из условий взаимозаменяемости линий в случае аварии и желательности большей нагрузки в центральных магистралях по сравнению с периферийными.

Величины намеченных транзитных $Q_{тр}$ расходов записываем в графу 5 табл. 12. По $Q_{тр}$ и $Q_п$ определяем расчетные расходы каждого участка $Q_р = Q_{тр} + 0{,}5Q_п$ (графа 6).

Диаметры труб D определяем, приняв единую среднюю скорость для всей сети (в пределах 0,7—1,0 *м/сек*). Имея D и $Q_р$, при помощи таблиц или номограмм определяем потери напора на единицу длины для каждого участка (i или 100 i), а затем на всю длину l ($h = il$).

Одновременно в графе 10 для контроля приводим полученные из таблиц величины скоростей v при заданном расходе и принятом диаметре. Получив потери напора на всех участках, приступаем к

Таблица 12

№		Длина	Расходы в *л/сек*			Диаметр	Предварит. распределение расходов			Окончательное распределение расходов				
			путевой	транзитный	расчетный	D	потери напора в *м*		скорость					
колец	участков	*м*	$Q_п$	$Q_{тр}$	$Q_р$	*мм*	100 i	$h = il$	v *м/сек*	$Q_{тр}$	$Q_р$	100 i	$h = il$	v *м/сек*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I	1—2	300	3	109	110,5	350	0,492	+1,48	1,14	109	110,5	0,492	+1,48	1,14
	2—8	600	6	78	81	350	0,265	+1,59	0,84	77,8	80,8	0,257	+1,54	0,84
	8—9	300	3	37	38,5	250	0,357	+1,07	0,78	38,2	39,7	0,38	+1,14	0,81
	9—10	300	3	25	26,5	200	0,555	—1,66	0,84	25,7	27,2	0,580	—1,74	0,86
	10—1	1 000	10	48	53	300	0,253	—2,53	0,75	48	53	0,253	—2,53	0,75
							$\Delta h_I = -0,05$ *м*						$\Delta h_I = -0,11$ *м*	
II	2—3	400	4	21	23	200	0,419	+1,68	0,73	21,2	23,2	0,425	+1,70	0,74
	3—4	600	6	10	13	150	0,621	+3,73	0,74	10,2	13,2	0,641	+3,85	0,75
	4—8	400	4	34	36	200	1,03	—4,12	1,15	32,6	34,6	0,95	—3,80	—
	8—2	—	—	—	—	—	—	—1,59	—	—	—	—	—1,54	—
							$\Delta h_{II} = -0,80$ *м*						$\Delta h_{II} = +0,21$ *м*	
III	4—5	500	5	12	14,5	150	0,773	+3,86	0,82	11,8	14,3	0,752	+3,76	0,81
	5—6	700	7	5	8,5	150	0,266	+1,86	0,48	4,8	8,3	0,244	+1,71	0,47
	6—12	500	5	20	22,5	200	0,400	—2,00	0,72	23,2	25,7	0,522	—2,61	0,82
	12—4	700	7	20	23,5	200	0,437	—3,06	0,75	19,0	22,5	0,400	—2,80	0,72
							$\Delta h_{III} = +0,65$ *м*						$\Delta h_{III} = +0,06$ *м*	
IV	8—4	—	—	—	—	—	—	+4,12	—	—	—	—	+3,80	—
	4—12	—	—	—	—	—	—	+3,06	—	—	—	—	+2,80	—
	12—11	400	4	40	42	250	0,444	—1,70	0,86	41,2	43,2	0,45	—1,80	0,83
	11—9	400	4	58	60	250	0,864	—3,46	1,22	59,9	61,9	0,921	—3,68	1,25
	9—8	—	—	—	—	—	—	—1,01	—	—	—	—	—1,14	—
							$\Delta h_{IV} = +0,95$ *м*						$\Delta h_{IV} = -0,12$ *м*	

№ колец	№ участков	Длина *м*	Расходы в *л/сек*: путевой $Q_п$	транзитный $Q_{тр}$	расчетный $Q_р$	Диаметр D *мм*	Предварит. распределение расходов: потери напора в *м* 100 i	$h = il$	скорость v *м/сек*	Окончательное распределение расходов: $Q_{тр}$	$Q_р$	100 i	$h = il$	v *м/сек*
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
V	10—9	—	—	—	—	—	—	+1,66	—	—	—	—	+1,74	—
	9—11	—	—	—	—	—	—	+3,46	—	—	—	—	+3,68	—
	11—14	300	3	11	12,5	150	0,574	+1,72	0,71	11,7	13,2	0,641	+1,92	0,75
	14—15	400	4	5	7	150	0,180	—0,72	0,40	4,3	6,8	0,14	—0,56	0,37
	15—10	800	8	12	16	150	0,944	—7,53	0,91	11,3	15,3	0,860	—6,88	0,87
							$\Delta h_V = -1{,}41$ *м*						$\Delta h_V = -0{,}10$ *м*	
VI	11—12	—	—	—	—	—	—	+1,70	—	—	—	—	+1,80	—
	12—13	500	5	15	17,5	150	1,13	+5,65	0,99	12,0	14,5	0,773	+3,86	0,82
	13—14	600	6	10	13	150	0,621	3,73	0,74	10,0	13,0	0,621	—3,73	0,74
	14—11	—	—	—	—	—	—	—1,72	—	—	—	—	—1,92	—
							$\Delta h_{VI} = +1{,}90$ *м*						$\Delta h_{VI} = +0{,}01$ *м*	
VII	12—6	—	—	—	—	—	—	+2,00	—	—	—	—	+2,61	—
	6—7	500	5	20	22,5	200	0,400	+2,00	0,72	23,0	25,5	0,514	+2,57	0,81
	7—13	500	5	20	22,5	200	0,400	+2,00	0,72	17,0	19,5	0,301	—1,51	0,62
	13—12	—	—	—	—	—	—	—5,65	—	—	—	—	—3,86	—
							$\Delta h_{VII} = -3{,}65$ *м*						$\Delta h_{VII} = -0{,}19$ *м*	

увязке сети. Для каждого кольца подсчитываем сумму потерь напора по всем составляющим его участкам, учитывая приведенное выше правило знаков. При первоначальной разбросе расходов при выбранных диаметрах обычно $\Sigma h \neq 0$ и $\Sigma h = \Delta h$.

Величина „невязки" Δh и ее знак указывают, какие ветви кольца нагружены чрезмерно и какие недогружены. В соответствии с этим

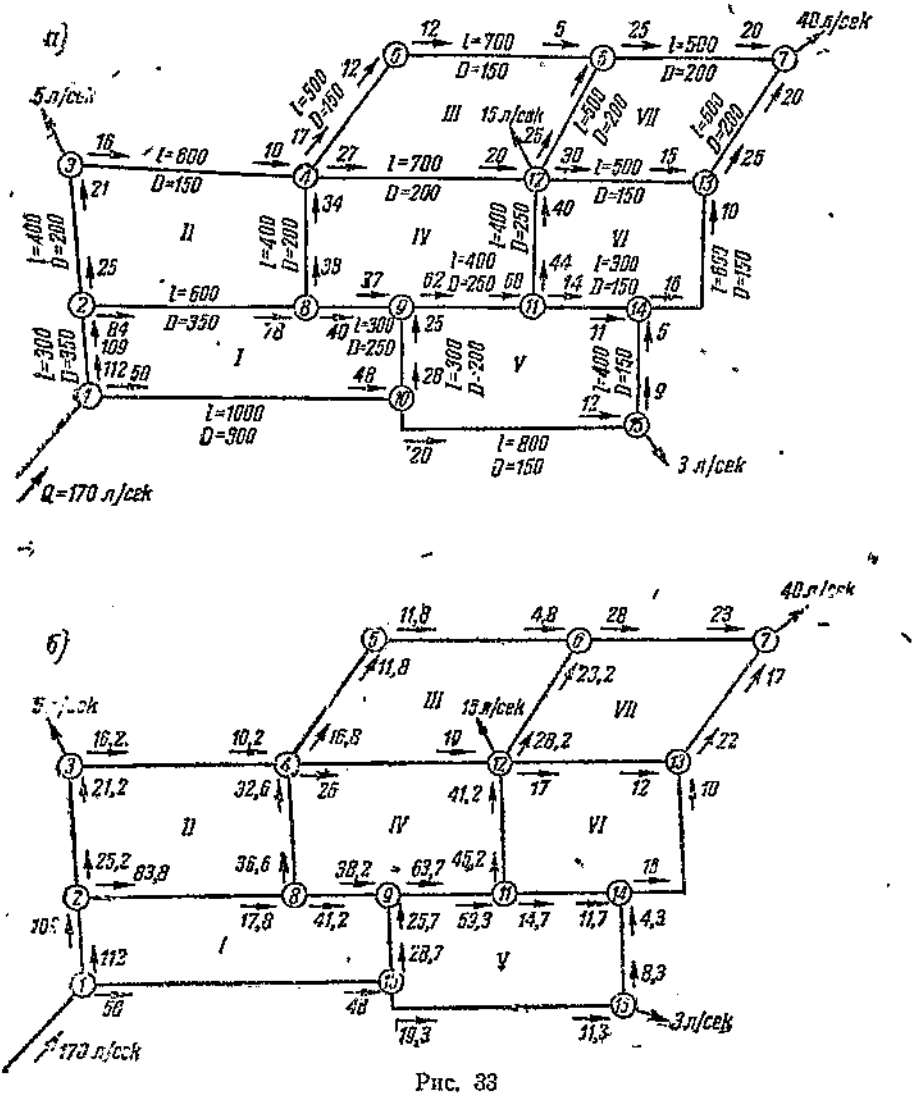


Рис. 33

производим переброску расхода с перегруженных ветвей на недогруженные до тех пор, пока невязки во всех кольцах не будут близки или равны нулю.

Обычно считают сеть „увязанной", если Δh не превосходит по абсолютной величине 0,3—0,5 *м*.

При переброске расходов для нахождения их распределения, близкого к действительному (соответствующего соблюдению условия $\Delta h = 0$ для всех колец), необходимо осуществлять этот процесс одновременно для всех колец сети, постепенно уменьшая в них величину невязки.

При этом при перераспределении расходов необходимо соблюдение в каждом узле равенства приходящих и уходящих расходов.

Путем ряда повторных попыток может быть найдено истинное распределение потоков воды по сети; полученные при этом окончательные величины потерь напора принимаются для определения высоты башни и напора насосов.

В табл. 12 помещен расчет сети и приведена как предварительная наметка расходов (рис. 33, *а*), дающая большие невязки, так и окончательное распределение расходов (рис. 33, *б*), при котором полученные величины невязок (не более 0,25 *м*) позволяют считать расчет сети полностью законченным.

Расчет той же сети на пожар принципиально не отличается от только что разобранного случая. В точку пожара должен быть подан заданный сосредоточенный расход; величины удельного и путевых расходов останутся прежними, так как расчет на пожар ведется для часов максимального водоразбора.

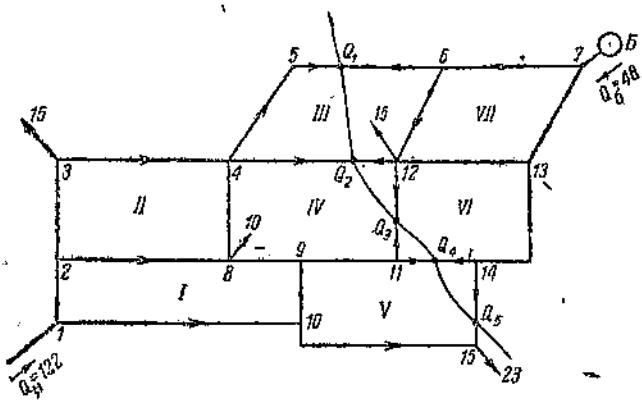


Рис. 34

Если в той же сети (рис. 34) башня будет расположена в конечной ее точке 7 (рис. 34), т. е. при так называемой системе с контррезервуаром, то питание сети в часы максимального водоразбора будет происходить с двух противоположных сторон — от насосов и от башни. В этом случае расчет сети осложняется.

Прежде всего надо определить количества воды, подаваемые от насосов и от башни. Это делается при помощи совмещенного графика водопотребления и подачи воды насосами. Предположим, что для рассматриваемой сети расход в часы максимального водопотребления равен 5,8% от S_{max}, а подача насосов составляет 4,17% от S_{max}. Следовательно, в эти часы башня будет подавать в сеть 5,80 — — 4,17 = 1,63% от S_{max}.

Разделив общий секундный расход воды (170 *л/сек*) пропорционально величинам 4,17 и 1,63, получим количество воды, подаваемое насосами — 122 *л/сек* и башней — 48 *л/сек*.

Уменьшив их на величину сосредоточенных расходов (принятых на схеме рис. 34 несколько иными, чем на схеме рис. 33), в точках, расположенных в зоне питания от насосов и от башни, получим суммарные величины путевых расходов линий, питающихся от насосов $[\Sigma(Q_n)_н]$ и от башни $[\Sigma(Q_n)_б]$.

Последние величины определяют и сумму длин линий сети, питающихся от насосов и от башни.

Зная удельный расход $q_{уд}$, получим длину линий, снабжаемых водой от насосной станции:

$$\sum l_{нас} = \frac{\Sigma (Q_n)_н}{q_{уд}},$$

а также длину линий, питающихся от башни:

$$\sum l_б = \frac{\Sigma (Q_n)_б}{q_{уд}}.$$

Пусть линия $O_1—O_2—...—O_4$ есть граница зон питания сети от насосов и от башни и точки O — точки встречи потоков — «точки схода» или «нулевые точки», как их часто называют.

Следует указать, что может быть найдено множество положений точек O, удовлетворяющих найденным значениям $\Sigma l_{нас}$ и $\Sigma l_б$. Их положение должно удовлетворять (кроме того) условию равенства нулю потерь напора в кольцах, пересекаемых границей зон питания $O_1—O_2—O_3—O_4—O_5$ (т. е. в кольцах III, IV, V, VI).

Покажем расположение пьезометрических линий для одного из колец (например кольца III).

Очевидно Σh для него, так же как и для всякого замкнутого контура, должна быть равна нулю. Отличие такого кольца от колец сети, питаемых от одного источника, лишь в том, что, идя по его контуру, мы несколько раз встречаем изменение знака пьезометрического уклона (рис. 35). Усложнение при расчете сети с контррезервуаром и заключается в том, что при увязке колец, лежащих на границе зон питания, изменение расхода по ветвям кольца влечет изменение положения точек схода и, следовательно, длин линий, примыкающих к границе. Между тем изменение этих длин допускается лишь при условии соблюдения полученных выше величин $\Sigma l_{нас}$ и $\Sigma l_б$.

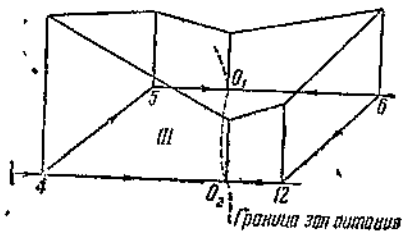


Рис. 35

Задача увязки таких колец решается также путем повторных попыток с соблюдением указанных условий.

Расчет сети на пропуск максимального транзита в башню в системах с контррезервуаром принципиально не отличается от расчета сети с односторонним питанием во время пожара. При этом в точке примыкания к сети башни имеет место сосредоточенный расход, равный величине транзита.

Эта величина определяется по совмещенным графикам подачи и потребления. Пусть, например, максимальный транзит в башню в промежуток 23—24 часа равен 4,5—3,3=1,2% от S_{max}. В этот период водопотребление составляет лишь 3,3% от S_{max}, и по этому расходу должен быть определен новый удельный расход и новые путевые расходы всех линий сети.

Долгое время изложенный метод расчета являлся единственным в нашей практике. Основные недостатки его: 1) отсутствие определенного порядка в отыскании истинного распределения потоков воды по сети и 2) некоторая громоздкость, обусловливаемая введением в сеть путевых расходов, что ведет к излишним вычислениям.

Из рациональных приемов расчета сетей, применяемых на практике, в первую очередь следует указать на способ расчета, предложенный инж. М. М. Андриашевым и упрощающий изложенный выше метод. По этому способу, после того как намечена конфигурация сети и определены путевые расходы всех участков, вычисляются узловые расходы. Узловой расход принимается равным полусумме путевых расходов участков, примыкающих к этому узлу. После введения узловых расходов путевые расходы не учитываются.

Далее намечается схема распределения транзитных расходов, как и при предыдущем методе, с той лишь разницей, что здесь задача упрощается вследствие наличия узловых расходов вместо путевых.

Кроме того, рекомендуется разбивка всего транзитного расхода, идущего через сеть, на несколько основных потоков с определенной трассой.

По полученным транзитным расходам каждого участка, которые при наличии лишь узловых расходов являются одновременно и расчетными, определяются диаметры всех линий сети по принятым расчетным скоростям.

По полученным диаметрам и длинам могут быть определены величины сопротивления s всех линий сети. Как известно, величина сопротивления $s = Al$, где A — удельное сопротивление линий (см. приложение 4). По A и l могут быть заранее вычислены и величины сопротивлений s всех линий сети.

Так как в процессе гидравлического расчета диаметры большинства участков не меняются, величина s при различных перераспределениях транзитных расходов воды по сети остается постоянной.

Следовательно, при выделении в формуле $h = sQ^2$ величины s как постоянной при каждой новой попытке распределения расходов будут получаться лишь новые значения Q.

Процессом определения сопротивлений s всех линий заканчиваются предварительные операции по расчету сети.

Результаты этого предварительного расчета наносятся на вспомогательных схемах сети (см. ниже рис. 36—38).

Схема I содержит длины, путевые и узловые расходы.

Схема II включает диаметры и сопротивления.

Схема III содержит расчетные расходы и потери напора. Последние получаются путем возведения в квадрат расчетного расхода (меняющегося при каждой новой попытке) и умножения его на постоянную величину s.

На схеме II выписаны все величины, остающиеся неизменными во все время расчета.

Далее приступают собственно к увязке колец сети, т. е. к нахождению истинного распределения транзитов по сети и потерь напора во всех участках.

В отличие от предыдущего метода все вычисления производятся без помощи расчетных таблиц с одной счетной линейкой и запись результатов ведется на схемах сети.

Рекомендуется при вычислении потерь напора при каждой новой попытке принимать расходы в десятках литров, а длины — в сотнях метров. Для этого величины s должны быть увеличены в 100 раз.

При каждой новой попытке расчета расход и потеря напора могут наноситься на схему III или же могут быть составлены новые схемы аналогичного вида.

По всем кольцам определяются невязки, равные алгебраической сумме потерь по всем участкам кольца. Величина невязок выписывается на той же схеме около стрелок, обозначающих знак невязки (+ по часовой стрелке и — против часовой стрелки).

Для внесения порядка и последовательности в переброску транзитных расходов введено понятие «увязочного расхода». Если в некотором кольце одна ветвь перегружена, а другая недогружена, то путем пуска по этому кольцу воображаемого кругового расхода в направлении, обратном знаку невязки, автоматически производится переброска количества воды, равного величине этого увязочного расхода, с перегруженной ветви на недогруженную.

Направление увязочного расхода может быть легко намечено по схеме, на которой нанесены стрелки невязок.

Увязочный расход может быть пущен не только по одному какому-нибудь кольцу, но и по любому замкнутому контуру, при этом нагрузка на перегруженных линиях уменьшится и на недогруженных увеличится. Каждое проведение увязочного расхода должно уменьшать величину невязок и приближать момент окончательной увязки сети. Введение понятия увязочного расхода облегчает технику увязки сети и ускоряет процесс расчета. Весь вопрос сводится к умелому нахождению направления и величины увязочного расхода. Метод этот позволяет лучше вести контроль за правильностью направления расчета, т. е. исключает в значительной степени случайные переброски расходов, не ведущие

к уменьшению невязок во всей сети. Кроме того, запись результатов вычислений на схемах дает большую наглядность и простоту по сравнению с записью в таблицах.

Покажем применение метода М. М. Андриашева к расчету той же семикольцевой сети, ранее рассчитанной методом повторных попыток.

На схеме I (рис. 36) выписаны длины линий, путевые расходы и произведено вычисление узловых расходов, обозначенных стрелками в узлах.

На схеме II (рис. 37) и III (рис. 38) намечено направление потоков воды. В соответствии с этим определены в первом приближении расчетные расходы каждого участка (они же транзитные) для определения диаметров. Это распределение расходов и выбор диаметров сделаны в полном соответствии с ранее приведенным расчетом той же сети по методу интерполяции. Расчетные расходы нанесены на схеме III (первая цифра верхней строчки у каждого участка). По намеченным диаметрам и известным длинам определяем сопротивления s всех участков для Q в десятках литров и для l в сотнях метров. На схеме II выписаны величины диаметров (первые цифры) и сопротивлений (вторые цифры). Весь расчет приводится на схеме III. Для получения потерь напора по намеченным расходам величины расхода каждого участка возведены в квадрат при помощи счетной линейки и умножены на сопротивление данного участка. Полученная потеря напора выписывается на схеме III (вторая цифра каждой строчки). Суммируя потери напора в каждом кольце, получаем невязки, обозначенные на схеме III цифрой у стрелки внутри кольца. Характер стрелки показывает, какие ветви кольца перегружены (те, к которым стрелка обращена выпуклой частью).

Переброска расходов с одной ветви на другую для уменьшения невязки производится при помощи увязочных расходов, представленных для наглядности на отдельной схеме (рис. 39) (чего в обычных расчетах не делают). Проводя изменение величины расчетных расходов в соответствии с величиной и знаком увязочного расхода (прибавляя или вычитая величину увязочного расхода), получим новые величины расчетных расходов (первые цифры второй строки схемы III). Возводя их в квадрат и умножая на ту же величину сопротивления данного участка, получаем новые потери напора (вторые цифры второй строки схемы III). В результате произведенной переброски расходов получаем при второй попытке вполне допустимые величины невязок (пунктирные стрелки). Величины потерь и невязок несколько разнятся от полученных ранее ввиду некоторой неточности подсчетов при помощи счетной линейки, по сравнению с обычными вычислениями.

Применение метода Андриашева сильно упрощает расчет сети с контррезервуаром (при питании ее с двух сторон).

Когда все путевые расходы приведены к узловым, граница зон питания может проходить только через узловые точки сети. Это устраняет затруднения, связанные с изменением расчетной длины линий вблизи границы зон питания. Сумма узловых расходов, получаемых от насосов, должна давать величину $Q_н$, а сумма расходов, получаемых от башни, — величину $Q_б$. Узловые точки, лежащие на границе зон, будут питаться и от насоса и от башни. При переброске в процессе увязки расходов с одной ветви пограничных колец на другую будет меняться отношение расходов воды.

Если при этом величина расходов, подаваемых к некоторому пограничному узлу, отдаленному от источников питания, превышает величину этого узлового расхода, пограничная линия передвигается к следующему узлу.

Приемы расчета сети по методу Андриашева в настоящее время (в различных видоизменениях) пользуются большим распространением в наших проектных организациях.

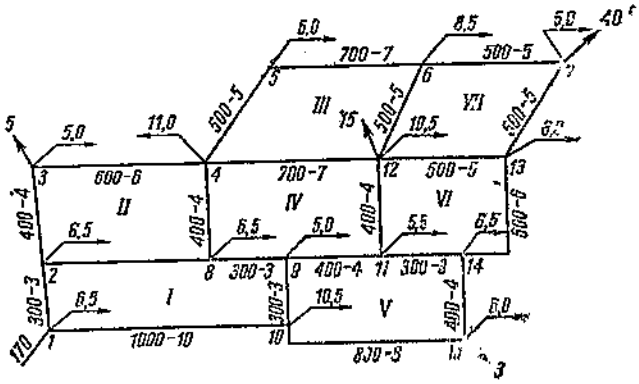


Рис. 36

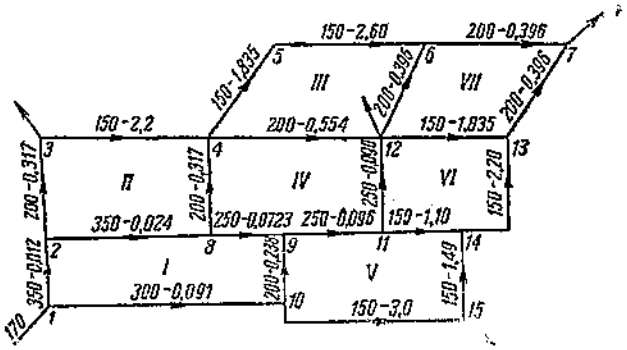


Рис. 37

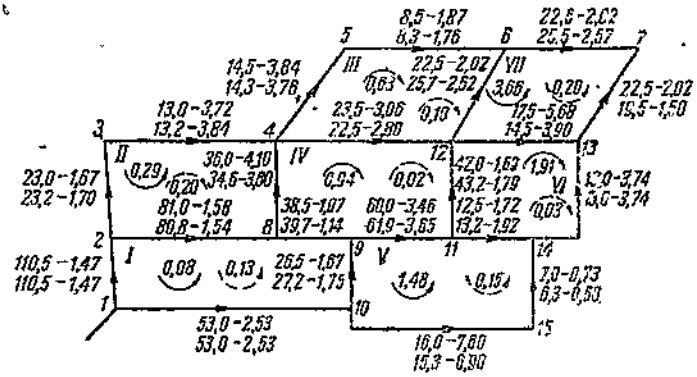


Рис 38

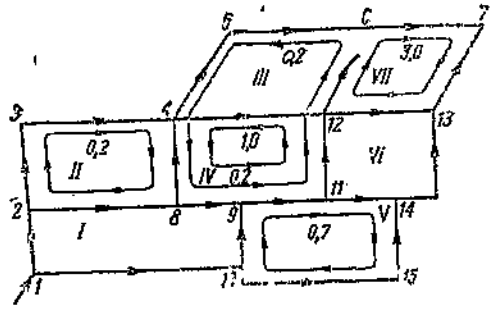


Рис. 39

На схемах рис. 40, 41, 42 и 43 приводится расчет сети по рис. 34 при расположении башни в точке 7 и новом расположении сосредоточенных расходов (в точках *3, 8, 12* и *15*). Сеть рассчитывается на момент максимального водоразбора. При этом подача от насосов равна 122 *л/сек* и подача от башни — 48 *л/сек*.

§ 16. Расчет кольцевых сетей по методу Лобачева

В рассмотренных методах расчета сети определение величины поправочных расходов, которые необходимо при увязке сети перебрасывать с одной ветви кольца на другую, производилось «на-глаз». Поэтому быстрота увязки зависела от опытности и технической интуиции расчетчика.

Выше уже было указано, что задача расчета сети с любым числом колец разрешима при условии, если диаметры участков известны или намечены. Тогда задача сводится к решению системы уравнений второй степени.

Однако назначение диаметров производится по предварительно намеченному распределению расходов по сети. Следовательно, первичная возможная картина распределения расходов обязательно должна быть намечена. Дальнейшие же увязки сводятся в перераспределению расходов по отдельным участкам, т. е. к нахождению величин поправочных расходов.

Эта задача математически решается следующим образом. Пусть имеется кольцо с намеченным распределением расходов воды q, по которым определены диаметры участков D; длины участков l известны (рис. 44).

При первой предварительной разбросе расходов не удается достигнуть соблюдения условия необходимой увязки кольца, т. е. равенства $\Sigma h=0$ или

$$s_1q_1^2+s_2q_2^2-s_3q_3^2-s_4q_4^2=0.$$

Допустим, что в кольце получена неувязка Δh, т. е.

$$s_1q_1^2+s_2q_2^2-s_3q_3^2-s_4q_4^2=\Delta h.$$

Для получения равенства $\Sigma h=0$ или $\Delta h=0$ необходимо некоторый пока неизвестный расход пропустить по линиям кольца в направлении, обратном знаку невязки. Обозначим величину этого искомого поправочного расхода через Δq.

Так как переброска расхода Δq должна привести к увязке кольца, должно быть достигнуто равенство:

$$\Delta h=0$$

или

$$s_1(q_1-\Delta q)^2+s_2(q_2-\Delta q)^2-s_3(q_3+\Delta q)^2-s_4(q_4+\Delta q)^2=\Delta h=0.$$

Из этого уравнения можно найти искомую величину Δh.

Преобразуя полученное равенство, раскрывая скобки и отбрасывая члены, содержащие $(\Delta q)^2$, как относительно малые по сравнению с остальными, определяем величину Δh.

Указанное упрощение сильно облегчает задачу, но дает приближенное ее решение:

$$\Delta q=\frac{s_1q_1^2+s_2q_2^2-s_3q_3^2-s_4q_4^2}{2(s_1q_1+s_2q_2+s_3q_3+s_4q_4)}. \qquad \text{(III)}$$

Выражение, стоящее в числителе, и есть Δh, т. е. невязка в кольце, полученная при первоначальной разбросе расходов. Знаменатель же является удвоенной суммой произведений расхода каждого участка на его сопротивление.

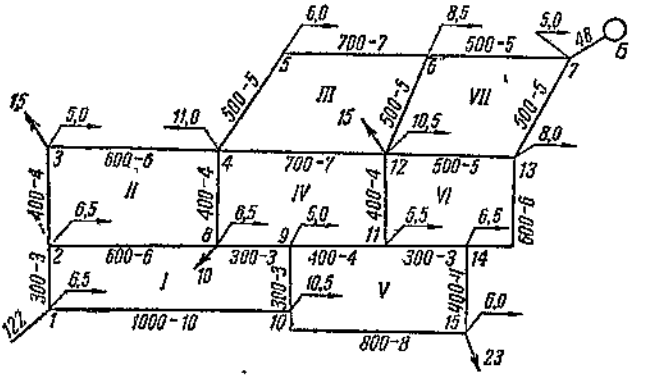


Рис. 40

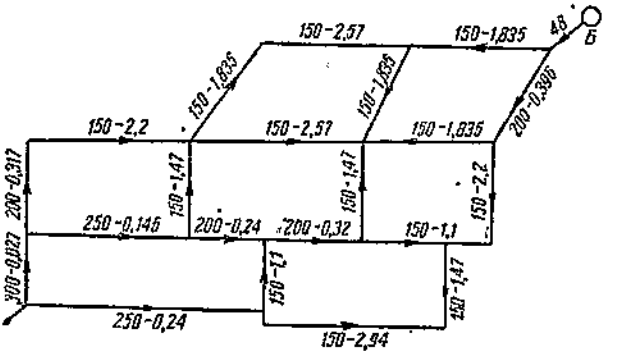


Рис. 41

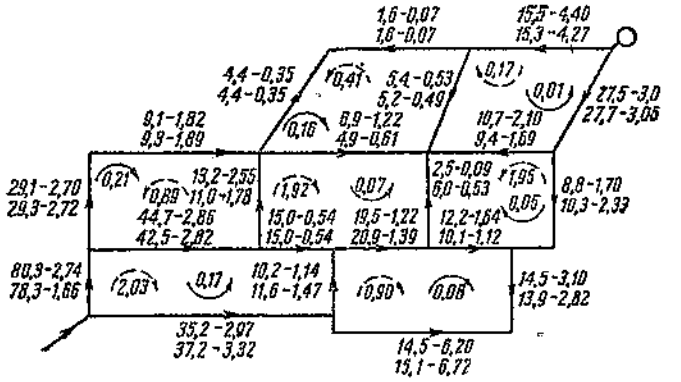


Рис. 42

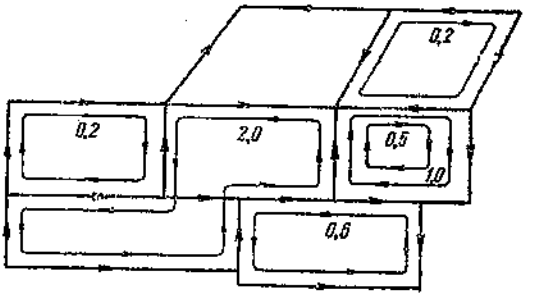


Рис. 43

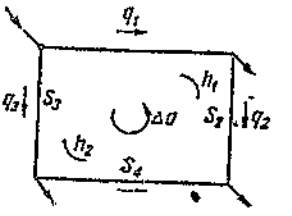


Рис. 44

Полученное выражение Δq можно представить в виде:

$$\Delta q = \frac{\Delta h}{2 \Sigma sq}.$$

Таким образом после первой же предварительной прикидки распределения расходов в кольце и определения величины первой невязки Δh весьма легко может быть определена аналитически величина поправочного расхода, который необходимо для достижения увязки кольца перебросить с одной ветви на другую.

Зная Δq, определяем новые величины расходов по всем участкам:

$$q_1' = q_1 - \Delta q; \quad q_2' = q_2 - \Delta q;$$
$$q_3' = q_3 + \Delta q; \quad q_4' = q_4 + \Delta q.$$

По новым расходам q' определяются потери напора на всех участках и величина новой невязки. Эта величина не будет равна нулю, так как формула для Δq дает приближенное решение. Обычно уже при первой переброске поправочного расхода невязка не превосходит допустимой величины.

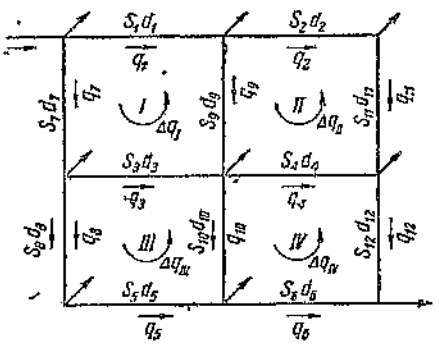


Рис. 45

Если сеть состоит из нескольких колец, то задача сводится к совместному решению системы стольких линейных уравнений, сколько колец в сети. Неизвестными будут поправочные расходы в каждом кольце Δq.

Рассмотрим сеть из четырех колец (рис. 45). В данном случае уже определены узловые и намечено распределение транзитных расходов, найдены расчетные расходы q и по ним диаметры D и сопротивления s всех участков.

Определив потери напора во всех участках, можно вычислить величину невязки в кольцах:

$$\Delta h_I = s_1 q_1^2 + s_9 q_9^2 - s_7 q_7^2 - s_3 q_3^2;$$
$$\Delta h_{II} = s_2 q_2^2 + s_{11} q_{11}^2 - s_9 q_9^2 - s_4 q_4^2;$$
$$\Delta h_{III} = s_3 q_3^2 + s_{10} q_{10}^2 - s_8 q_8^2 - s_5 q_5^2;$$
$$\Delta h_{IV} = s_4 q_4^2 + s_{12} q_{12}^2 - s_{10} q_{10}^2 - s_6 q_6^2.$$

Предположим условно, что после первой наметки расходов в каждом кольце оказались перегруженными верхние и правые линии.

Выше уже было указано, что знаки потерь напора и невязок принимаются положительными для тех участков, на которых направление движения воды совпадает с направлением часовой стрелки. То же правило примем и для поправочных расходов Δq.

В рассматриваемом случае при переброске некоторых расходов с верхних ветвей колец на нижние знаки всех поправочных расходов будут отрицательными.

В отличие от однокольцевой сети все участки, являющиеся смежными для двух колец, имеют два поправочных расхода со стороны каждого кольца.

После введения поправочных расходов невязки в кольцах могут быть выражены так:

$$\Delta h_{\text{I}} = s_1(q_1 - \Delta q_{\text{I}})^2 + s_9(q_9 - \Delta q_{\text{I}} + \Delta q_{\text{II}})^2 - s_7(q_7 + \Delta q_{\text{I}})^2 - s_3(q_3 + \Delta q_{\text{I}} - \Delta q_{\text{III}})^2 = 0;$$

$$\Delta h_{\text{II}} = s_2(q_2 - \Delta q_{\text{II}})^2 + s_{11}(q_{11} - \Delta q_{\text{II}})^2 - s_9(q_9 - \Delta q_{\text{I}} + \Delta q_{\text{II}})^2 - s_4(q_4 + \Delta q_{\text{II}} - \Delta q_{\text{II}})^2 = 0;$$

$$\Delta h_{\text{III}} = s_3(q_3 - \Delta q_{\text{III}} + \Delta q_{\text{I}})^2 + s_{10}(q_{10} - \Delta q_{\text{III}} + \Delta q_{\text{IV}})^2 - s_8(q_8 + \Delta q_{\text{III}})^2 - s_5(q_5 + \Delta q_{\text{III}})^2 = 0;$$

$$\Delta h_{\text{IV}} = s_4(q_4 - \Delta q_{\text{IV}} + \Delta q_{\text{II}})^2 + s_{12}(q_{12} - \Delta q_{\text{IV}})^2 - s_{10}(q_{10} - \Delta q_{\text{III}} + \Delta q_{\text{IV}})^2 - s_6(q_6 + \Delta q_{\text{IV}})^2 = 0.$$

Так как после переброски надлежащих величин Δq должна быть обеспечена увязка сети, приравниваем величины Δh нулю.

Раскрывая скобки в полученных выражениях, отбрасывая величины вида $(\Delta q)^2$ и $\Delta q_k \cdot \Delta q_m$ как весьма малые (сравнительно с остальными членами уравнения) и объединяя члены, содержащие неизвестные Δq, получим:

$$(s_1q_1^2 + s_9q_9^2 - s_7q_7^2 - s_3q_3^2) - 2(s_1q_1 + s_9q_9 + s_7q_7 + s_3q_3)\Delta q_{\text{I}} + 2s_9q_9\Delta q_{\text{II}} - 2s_3q_3\Delta q_{\text{III}} = 0;$$

$$(s_2q_2^2 + s_{11}q_{11}^2 - s_4q_4^2 - s_9q_9^2) - 2(s_2q_2 + s_{11}q_{11} + s_4q_4 + s_9q_9)\Delta q_{\text{II}} + 2s_9q_9\Delta q_{\text{I}} + 2s_4q_4\Delta q_{\text{IV}} = 0;$$

$$(s_3q_3^2 + s_{10}q_{10}^2 - s_8q_8^2 - s_5q_5) - 2(s_3q_3 + s_{10}q_{10} + s_8q_8 + s_5q_5)\Delta q_{\text{III}} + 2s_3q_3\Delta q_{\text{I}} + 2s_{10}q_{10}\Delta q_{\text{IV}} = 0;$$

$$(s_4q_4^2 + s_{12}q^2 - s_{10}q_{10}^2 - s_6q_6^2) - 2(s_4q_4 + s_{12}q_{12} + s_{10}q_{10} + s_6q_6)\Delta q_{\text{IV}} + 2s_4q_4\Delta q_{\text{II}} + 2s_{10}q_{10}\Delta q_{\text{III}} = 0.$$

Выражения, стоящие в первых скобках написанных уравнений, представляют собой величины невязок, полученных в каждом кольце при первоначальной разброске расходов (т. е. Δh_{I}; Δh_{II}; Δh_{III} и Δh_{IV}).

Коэфициенты при неизвестных Δq, индекс которых соответствует номеру уравнения, являются выражениями типа $2\Sigma(sq)$, где s и q — соответственно сопротивления и намеченные расходы по всем линиям каждого данного кольца.

Вставив в написанные уравнения величины Δh_i и $2\Sigma s_i q_i$, получим:

$$\Delta h_{\text{I}} - 2\sum(sq)_{\text{I}}\Delta q_{\text{I}} + 2s_9q_9\Delta q_{\text{II}} + 2s_3q_3\Delta q_{\text{III}} = 0;$$

$$\Delta h_{\text{II}} - 2\sum(sq)_{\text{II}}\Delta q_{\text{II}} + 2s_9q_9\Delta q_{\text{I}} + 2s_4q_4\Delta q_{\text{IV}} = 0;$$

$$\Delta h_{\text{III}} - 2\sum(sq)_{\text{III}}\Delta q_{\text{III}} + 2s_3q_3\Delta q_{\text{I}} + 2s_{10}q_{10}\Delta q_{\text{IV}} = 0;$$

$$\Delta h_{\text{IV}} - 2\sum(sq)\ \Delta q_{\text{IV}} + 2s_4q_4\Delta q_{\text{II}} + 2s_{10}q_{10}\Delta q_{\text{III}} = 0.$$

Полученная система линейных уравнений числом, равным числу колец сети, позволит найти искомые поправочные расходы Δq. Число последних также равно числу колец. Следовательно, число уравнений всегда равно числу неизвестных.

Составление этих уравнений для любого числа колец и любой конфигурации сети весьма просто.

Каждому кольцу i соответствует одно уравнение, в которое входят: свободный член, равный величине невязки кольца Δh_i; член со-

держащий искомый поправочный расход данного кольца Δq_i с коэфициентом вида $2\Sigma(sq)_i$, где $\Sigma(sq)_i$ распространяется на все участки данного кольца, и, наконец, поправочные расходы смежных с данным колец с коэфициентами вида $2(sq)$, где s и q — сопротивление и расход (намеченный в первом приближении) линии, разграничивающей кольцо i от смежных с ним колец.

Дальнейшая задача нахождения поправочных расходов Δq сводится к решению системы n линейных уравнений с n неизвестными. При значительном числе колец, а следовательно, и уравнений решение системы получается громоздкое и длительное.

Проф. Лобачев рекомендует для решения полученной системы уравнений применение итеративного метода (т. е. метода последовательного приближения), осуществляемого следующим образом.

В полученной системе уравнений отбрасываются все члены, кроме свободного и содержащего поправочный расход для кольца, рассчитываемого по данным уравнениям.

Тогда написанная выше система уравнений примет вид:

$$\Delta h_{\text{I}} - 2\sum(sq)_{\text{I}}\Delta q_{\text{I}} = 0;$$

$$\Delta h_{\text{II}} - 2\sum(sq)_{\text{II}}\Delta q_{\text{II}} = 0;$$

$$\Delta h_{\text{III}} - 2\sum(sq)_{\text{III}}\Delta q_{\text{III}} = 0;$$

$$\Delta h_{\text{IV}} - 2\sum(sq)_{\text{IV}}\Delta q_{\text{VI}} = 0.$$

Отсюда могут быть найдены в первом грубом приближении величины искомых поправочных расходов:

$$\Delta q_{\text{I}} = \frac{\Delta h_{\text{I}}}{2\Sigma(sq)_{\text{I}}};$$

$$\Delta q_{\text{II}} = \frac{\Delta h_{\text{II}}}{2\Sigma(sq)_{\text{II}}};$$

$$\Delta q_{\text{III}} = \frac{\Delta h_{\text{III}}}{2\Sigma(sq)_{\text{III}}};$$

$$\Delta q_{\text{IV}} = \frac{\Delta h_{\text{IV}}}{2\Sigma(sq)_{\text{IV}}}.$$

В соответствии с полученными поправочными расходами вводятся исправления в первоначально намеченные расходы по отдельным линиям сети, т. е. производится перераспределение расходов.

По новым расчетным расходам вычисляются потери напора во всех участках сети и снова определяются величины невязок $\Delta h_i'$. Если величина невязок не превышает допустимых значений, то расчет считаем законченным; если же невязка значительна, составляем новую систему уравнений для исправленных расходов q_i' и новых невязок $\Delta h_i'$.

Из этих уравнений определяем вторую серию дополнительных поправочных расходов, снова вводимых в расчет.

Практика применения этого метода показывает, что число повторений подобной операции редко бывает более трех. Поскольку конструирование уравнений сравнительно просто, постольку весь процесс решения также не представляет труда. Ниже приводится решение той же, ранее рассмотренной семикольцевой сети методом итераций. На этом примере виден и метод записи всего расчета (табл. 13).

§ 17. Принципы инструментального расчета кольцевых водопроводных сетей

При расчете кольцевых водопроводных сетей много времени и труда затрачивается на «увязку» сети, т. е. на установление распределения расходов воды (близкого к действительному) и потерь напора при намеченных диаметрах сети.

Этот процесс можно упростить и ускорить путем его механизации.

В настоящее время приемы механизированного (инструментального) расчета сетей еще не вышли за пределы экспериментов, однако имеющиеся уже результаты указывают на вероятность получения большого эффекта от применения этих методов на практике.

Почти все испытывавшиеся приборы для механического расчета сетей основаны на принципе электро-гидродинамической аналогии (ЭГДА). Принцип этот, устанавливающий аналогию в движении воды и электрического тока, уже завоевал место в практических исследованиях в некоторых областях техники.

При движении тока по проводнику, имеющему сопротивление r, падение потенциала V связано с силой тока I соотношением:

$$V = rI. \tag{1}$$

При движении воды по системе труб сила тока I заменяется расходом воды Q, падение потенциала V — потерей напора h, а омическое сопротивление проводника r — гидравлическим сопротивлением в трубе s.

Для ламинарного движения имеется полная аналогия между течением тока и воды.

Для турбулентного движения, которое практически всегда встречается в водопроводных сетях, зависимость между h, s и Q имеет вид:

$$h = sQ^2. \tag{2}$$

Аналогии в движении воды и тока в этом случае можно достигнуть, если в уравнении (1) принять омическое сопротивление пропорциональным силе тока с коэфициентом пропорциональности s, т. е. если $r = sI$.

В этом случае уравнение (1) примет вид:

$$V = sI \cdot I = sI^2, \tag{3}$$

т. е. достигается аналогия между уравнениями (2) и (3).

Это позволяет осуществить расчет на электрической модели водопроводной сети с заменой отдельных участков труб проводниками, сопротивления которых все время остаются пропорциональными силе проходящего через них тока. Если пропускать через модель ток определенной силы и отводить его в точках, соответствующих точкам отбора воды, то сила тока в каждой линии электросети даст в известном масштабе величину расхода воды в соответствующем участке водопроводной сети, а падение потенциала — потерю напора.

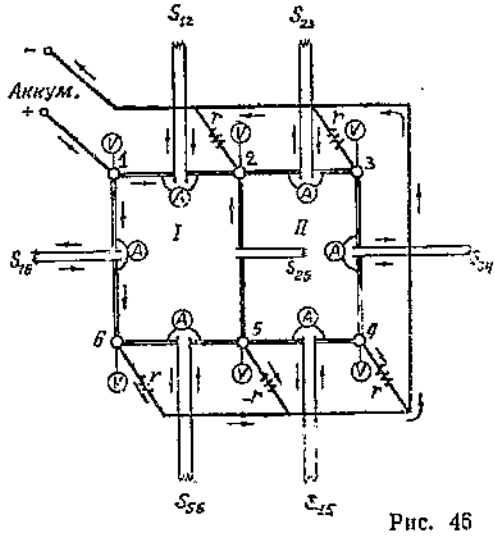


Рис. 46

На рис. 46 показана схема «электромоделирования» водо-

№ колец	№ участков	Длина l м	Предварительная прикидка расходов: q л/сек	D мм	s	sq	$h = sq^2$	Поправочный расход Δq л/сек
I	1—2	300	110,5	350	0,0001203	0,0133	+1,48	+0,20
	2—8	600	81,0	350	0,0002406	0,0195	+1,59	—0,11
	8—9	300	38,5	250	0,000723	0,0278	+1,07	+1,45
	9—10	300	26,5	200	0,002376	0,0630	—1,66	+0,64
	10—1	1000	53,0	300	0,000911	0,0483	—2,55	—0,20
					$\Sigma\,(sq)_{\mathrm{I}} = 0{,}1719$		$\Delta h_{\mathrm{I}} = -0{,}07$	$\Delta q_{\mathrm{I}} = -\frac{0{,}07}{2 \cdot 0{,}1719} \approx -0{,}207$
II	2—3	400	23	200	0,003168	0,0729	+1,68	+0,31
	3—4	600	13	150	0,02202	0,2863	+3,72	+0,31
	4—8	400	36	200	0,003168	0,1140	—4,11	—1,56
	8—2	—	—	—	—	0,0195	—1,59	+1,25
					$\Sigma\,(sq)_{\mathrm{II}} = 0{,}4927$		$\Delta h_{\mathrm{II}} = -0{,}30$	$\Delta q_{\mathrm{II}} = -\frac{0{,}30}{2 \cdot 0{,}4927} = -0{,}31$
III	4—5	500	14,5	150	0,01835	0,2661	+3,85	—0,47
	5—6	700	8,5	150	0,02596	0,2207	+1,87	—0,47
	6—12	500	22,5	200	0,00396	0,0891	—2,00	+3,57
	12—4	700	23,5	200	0,005544	0,1303	—3,06	—0,78
					$\Sigma\,(sq)_{\mathrm{III}} = 0{,}7062$		$\Delta h_{\mathrm{III}} = +0{,}67$	$\Delta q_{\mathrm{III}} = \frac{+0{,}67}{2 \cdot 0{,}7062} \approx +0{,}47$
IV	8—4	—	—	—	—	0,1140	+4,11	—
	4—12	—	—	—	—	0,1303	+3,06	—
	12—11	400	42	250	0,000964	0,0405	+1,70	+0,05
	11—9	400	60	250	0,000964	0,0578	—3,47	+2,09
	9—8	—	—	—	—	0,0278	—1,07	—
					$\Sigma\,(sq)_{\mathrm{IV}} = 0{,}3724$		$\Delta h_{\mathrm{IV}} = +0{,}93$	$\Delta q_{\mathrm{IV}} = \frac{+0{,}93}{2 \cdot 0{,}3724} \approx +1{,}25$
V	10—9	—	—	—	—	0,0630	+1,66	—
	9—11	—	—	—	—	0,0578	+3,46	—
	11—14	300	12,5	150	0,01101	0,1376	+1,72	+2,04
	14—15	400	7,0	150	0,01468	0,1028	—0,72	—0,84
	15—10	800	16,0	150	0,02936	0,4697	—7,52	—0,84
					$\Sigma\,(sq)_{\mathrm{V}} = 0{,}8309$		$\Delta h_{\mathrm{V}} = -1{,}40$	$\Delta q_{\mathrm{V}} = \frac{-1{,}40}{2 \cdot 0{,}8309} \approx -0{,}84$
VI	11—12	—	—	—	—	0,0405	+1,70	—
	12—13	500	17,5	150	0,01835	0,3211	+5,62	—4,50
	13—14	600	13,0	150	0,02202	0,2863	—3,72	+1,20
	14—11	—	—	—	—	0,1376	—1,72	—
					$\Sigma\,(sq)_{\mathrm{VI}} = 0{,}7855$		$\Delta h_{\mathrm{VI}} = +1{,}88$	$\Delta q_{\mathrm{VI}} = \frac{+1{,}88}{2 \cdot 0{,}7855} \approx +1{,}20$
VII	12—6	—	—	—	—	0,0891	+2,00	—
	6—7	500	22,5	200	0,00396	0,0891	+2,00	+3,10
	7—13	500	22,5	200	0,00396	0,0891	—2,00	—3,10
	13—12	—	—	—	—	0,3211	—5,62	—
					$\Sigma\,(sq)_{\mathrm{VII}} = 0{,}5884$		$\Delta h_{\mathrm{VII}} = -3{,}62$	$\Delta q_{\mathrm{VII}} = \frac{-3{,}62}{2 \cdot 0{,}5884} \approx -3{,}10$

Таблица 13

I исправление			II исправление			
q л/сек	sq	$h = sq^2$	Δq	q	sq	$h = sq^2$
110,70	0,0133	+1,48	+0,15	110,85	0,0133	+1,48
80,89	0,0195	+1,59	+0,10	80,99	0,0194	+1,59
39,95	0,0282	+1,15	+0,55	40,50	0,0293	+1,18
27,14	0,0647	−1,74	−0,45	26,69	0,0636	−1,70
52,80	0,0480	−2,53	−0,15	52,85	0,0480	−2,53
$\Sigma(sq)'_{\text{I}} = 0,1754$		$\Delta h'_{\text{I}} = -0,05$	$\Delta q'_{\text{I}} = \frac{-0,05}{2 \cdot 0,1754} \approx -0,15$			$\Delta h''_{\text{I}} = -0,02$
23,31	0,0740	+1,74	+0,05	23,36	0,0740	+1,74
13,31	0,2900	+3,81	+0,05	13,36	0,290	+3,81
35,44	0,1280	−4,00	−0,45	34,99	0,1105	−3,85
—	0,0195	−1,59	—	—	—	−1,59
$\Sigma(sq)'_{\text{II}} = 0,5115$		$\Delta h'_{\text{II}} = -0,04$	$\Delta q'_{\text{II}} = \frac{-0,04}{2 \cdot 0,5115} \approx -0,05$			$\Delta h''_{\text{II}} = +0,10$
14,03	0,256	+3,60	+0,20	14,23	0,261	+3,71
8,03	0,2087	+1,67	+0,20	8,23	0,214	+1,76
26,07	0,1032	−2,70	−0,80	25,27	0,102	−2,62
22,72	0,126	−2,86	−0,60	22,12	0,122	−2,72
$\Sigma(sq)'_{\text{III}} = 0,6939$		$\Delta h'_{\text{III}} = -0,29$	$\Delta q'_{\text{III}} = \frac{+0,29}{2 \cdot 0,6939} \approx +0,20$			$\Delta h''_{\text{III}} = +0,13$
—	0,1280	+4,00	—	—	—	+3,85
—	0,1260	+2,86	—	—	—	+2,72
42,05	0,0406	−1,71	+1,6	43,65	0,042	−1,74
62,09	0,6598	−3,72	+0,1	62,19	0,06	−3,73
—	0,0282	−1,15	—	—	—	−1,18
$\Sigma(sq)'_{\text{IV}} = 0,3826$		$\Delta h'_{\text{IV}} = +0,28$	$\Delta q'_{\text{IV}} = \frac{+0,28}{2 \cdot 0,3826} \approx +0,40$			$\Delta h_{\text{IV}} = -0,08$
—	0,0647	+1,74	—	—	—	+1,70
—	0,0598	+3,72	—	—	—	+3,73
14,54	0,1600	+2,32	−1,5	13,04	0,1435	+1,88
6,16	0,0898	−0,54	+0,3	6,19	0,0907	−0,56
15,16	0,4520	−6,78	+0,3	15,46	0,454	−6,90
$\Sigma(sq)'_{\text{V}} = 0,8263$		$\Delta h'_{\text{V}} = +0,46$	$\Delta q'_{\text{V}} = \frac{+0,46}{2 \cdot 0,8263} \approx +0,30$			$\Delta h''_{\text{V}} = +0,15$
—	0,0406	+1,71	—	—	—	+1,74
13,20	0,242	+3,19	+1,8	15,0	0,262	+3,94
14,20	0,313	−4,44	−1,2	13,0	0,286	−3,77
—	0,160	−2,82	—	—	—	−1,88
$\Sigma(sq)'_{\text{VI}} = 0,7556$		$\Delta h'_{\text{VI}} = -1,86$	$\Delta q'_{\text{VI}} = \frac{-1,86}{2 \cdot 0,7556} \approx -1,20$			$\Delta h''_{\text{VI}} = +0,27$
—	0,1032	+2,70	—	—	—	+2,62
25,6	0,1012	−2,59	−0,6	25,0	0,100	+2,50
19,4	0,077	+1,49	+0,6	20,0	0,0792	−1,56
—	0,242	+3,19	—	—	—	−3,94
$\Sigma(sq)_{\text{VII}} = 0,5234$		$\Delta h'_{\text{VII}} = +0,61$	$\Delta q_{\text{VII}} = \frac{+0,61}{2 \cdot 0,5234} \approx +0,6$			$\Delta h''_{\text{VII}} = -0,38$

проводной сети, состоящей из двух колец (I и II). Ток поступает в сеть от аккумулятора с постоянной разностью потенциалов, соответствующей в определенном масштабе напору, которым обусловливается движение воды в сети (создаваемому башней или насосом).

Положительный полюс аккумулятора соединяется с начальной точкой сети, соответствующей точке примыкания водовода *1*; отрицательный полюс соединяется со всеми узлами сети, в которых должен производиться отбор воды. Сила тока, отводимого от каждого узла, устанавливается при помощи сопротивлений *r* равной (в принятом масштабе) расходу воды, забираемой в этих узлах.

При конструировании электромодели проводники, соединяющие узлы сети, имеют незначительное сопротивление, не принимаемое во внимание при расчете. Но в проводники включаются сопротивления *s*, соответствующие сопротивлению замененной этим проводником трубы.

Величины гидравлических сопротивлений отдельных участков сети вычисляются заранее, для этого должны быть намечены диаметры всех линий сети. Сопротивления устанавливаются пропорционально силе тока, проходящего по проводнику. Таким образом расчет сети по методу электромоделирования является по существу поверочным расчетом. Но и в расчетах сети аналитическими методами по предварительному распределению расходов определяются диаметры, после чего делается «увязка сети» при уже намеченных диаметрах.

Напряжение во всех узлах сети измеряется при помощи вольтметров (*V*) и сила тока на каждом «участке» — при помощи миллиамперметров (*A*).

При этом должен быть принят определенный масштаб, например 1 *м* вод. ст. равен напряжению в 1 *в* и 1 *л/сек* равен силе тока в 1 *ма*.

Метод электромоделирования для расчета водопроводной сети впервые был применен в США профессорами Массачузетского технологического института Camp и Hasen в 1934 г.

В СССР в течение 1936—38 гг. интересные работы в этом направлении были проведены Научно-исследовательским институтом Водгео.

Основная трудность при электромоделировании заключается в установлении сопротивлений участков (соответствующих гидравлическим сопротивлениям), пропорциональных силе проходящего по ним тока.

В работах Camp и Hasen этот процесс проводился вручную путем последовательного приближения.

В настоящее время институтом Водгео разработана более совершенная и вместе с тем более простая модель автоматического прибора, при помощи которого сопротивление поддерживается пропорциональным силе тока.

Приведенные сведения об инструментальном расчете сети позволяют сделать заключение, что этот способ может внести значительное ускорение процесса увязки кольцевых сетей.

Глава IV

ПРИНЦИПЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ВОДОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ

§ 18. Задача технико-экономического расчета водопроводной сети

При гидравлическом расчете водопроводных сетей диаметры труб назначаются по заданной скорости. Эта так называемая «средняя экономическая скорость» обычно или принимается одинаковой для всех участков, или определяется по графику, дающему значение средней экономической скорости в зависимости от диаметра. Эта скорость зависит от ряда экономических факторов и различна для различных участков сети. Задача установления экономически наивыгоднейших диа-

метров водопроводной сети может быть решена аналитически для любых конфигураций сети и условий ее питания. Однако решение этой задачи представляет большие затруднения, во-первых, в связи с трудностью точного математического выражения стоимости элементов водопроводной системы и, во-вторых, вследствие сложности методов технико-экономического расчета.

До настоящего времени методы технико-экономического расчета водопроводных сетей еще недостаточно разработаны и широкого применения в практике проектирования не получили.

Экономическому расчету обычно подвергаются лишь водоводы с сосредоточенными расходами, а также разветвленные (тупиковые) сети.

Задача технико-экономического расчета сети в зависимости от условий ее питания может быть сформулирована следующим образом:

а) При подаче воды насосами, т. е. когда напор в начальной точке сети не задан, технико-экономический расчет производится для определения диаметров труб и получения минимальной величины ежегодных затрат по всему комплексу «насосы — сеть» с учетом строительной стоимости и стоимости эксплоатации.

б) При подаче воды в сеть под постоянным, заданным в начале сети напором технико-экономический расчет должен обеспечить получение диаметров труб, при которых стоимость сети будет минимальной.

§ 19. Технико-экономический расчет водоводов

Рассмотрим случай подачи воды от насосной станции в бак, расположенный на заданной отметке. При этом водовод в нескольких точках по пути отдает воду в виде сосредоточенных расходов.

Величина расхода в конечной и в промежуточных точках задана; также заданы длины участков и отметки характерных точек системы. Требуется найти диаметры всех участков водовода, соответствующие наименьшей величине ежегодных затрат.

Строительную стоимость 1 $м$ труб C_c можно выразить различными формулами как функцию диаметра в зависимости от материала и условий прокладки труб (глубины заложения, характера грунтов, наличия грунтовых вод и т. п.).

Формулы эти имеют вид:

$$C_c = a + bD;$$
$$C_c = a + bD + cD^2;$$
$$C_c = a + bD^{\alpha}$$

и др., где a, b, c и α — коэфициенты стоимости, зависящие от материала труб и от указанных местных условий.

Приведенные формулы получены в результате обработки сметных данных о стоимости труб различных диаметров и материалов при укладке их в разных условиях.

В технико-экономических расчетах удобно пользоваться степенной двухчленной формулой вида:

$$C_c = a + bD^{\alpha}.$$

В этом случае стоимость водовода может быть выражена:

$$C_c = \sum_{i=1}^{i=n} (a + bD_i^{\alpha}) l_i,$$

где n — число участков и l_i — длины участков.

Строительную стоимость насосной станции можно выразить формулой вида:

$$C_N = fN_0 = frN,$$

где f — стоимость станции, приходящаяся на 1 *л. с.* установленной мощности, в руб.;

N_0 — установленная мощность (мощность агрегатов как действующих, так и запасных) в *л. с.*;

N — расчетная мощность в *л. с.*;

r — коэфициент запаса.

Полная строительная стоимость системы «насос — водовод» будет:

$$C = \sum_{i=1}^{i=n} (a + bD_i^2) l_i + frN.$$

Величина ежегодных отчислений со строительной стоимости (в рублях) определяется из выражения:

$$W_c = 0{,}01 \left[p_1 \sum_{i=1}^{i=n} (a + bD_i^2) l_i + p_2 frN \right],$$

где p_1 и p_2 — проценты отчислений на амортизацию, капитальный ремонт и т. п.

Величины эти различны для сети и оборудования и определяются в соответствии с официальными указаниями.

Величина ежегодных затрат (в рублях) на подачу воды, слагающаяся в основном из стоимости энергии, составляет:

$$W_э = 0{,}01\sigma \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0{,}736N \approx 0{,}01\sigma \cdot 6\,450N,$$

где σ — стоимость 1 *квт-ч* энергии в копейках;

0,736 — переводной коэфициент от *л. с.* к *квт-ч*;

N — мощность работающих насосов в *л. с.*; при неравномерной работе насосов величина N должна быть приведена к средней затрачиваемой мощности.

Отсюда полная величина ежегодных затрат составит:

$$W = W_c + W_э =$$

$$= 0{,}01 \left[p_1 \sum_{i=1}^{i=n} (a + bD_i^2) l_i + (p_2 fr + 6\,450\sigma) N \right].$$

Величина N может быть выражена через расход Q, подаваемый по водоводу, и полный напор H, создаваемый насосом.

При равномерной работе насосов:

$$N = \frac{QH}{75\eta},$$

где η — к. п. д. насосной установки.

Величина H слагается из геометрической высоты подъема H_0 и потерь напора в водоводе $\sum_{i=1}^{i=n} h_i$; h_i — потери напора на участках водовода.

Введя указанное значение N в предыдущую формулу, получим:

$$W = 0{,}01p_1 \sum_{i=1}^{i=n} (a + bD_i^2) l_i +$$

$$+ (0{,}01p_2 fr + 6\,450\sigma) \left(H_0 + \sum_{i=1}^{i=n} h_i \right) \frac{Q}{75\eta}.$$

В полученной формуле стоимость W выражается в функции диаметра D и потерь напора h.

Однако при заданных расходах и длинах эти величины связаны определенным соотношением и могут быть выражены одна через другую. Воспользуемся для этого формулой потерь напора вида:

$$h = k\frac{Q^2 l}{D^m},$$

откуда

$$D = \left(k\frac{Q^2 l}{h}\right)^{\frac{1}{m}}.$$

Задача состоит в том, чтобы найти значения D (или соответствующих им h) отдельных участков, при которых W будет минимальной. Расчетные формулы значительно упрощаются, если выразить W в функции h. Заменив D через h, имеем:

$$W = 0{,}01 p_1 \sum_{i=1}^{i=n}\left[a + b\left(k\frac{Q_i^2 l_i}{h_i}\right)^{\frac{\alpha}{m}}\right] l_i + \\ + 0{,}01(p_2 fr + 6\,450\sigma)\left(H_0 + \sum_{i=1}^{i=n} h_i\right)\frac{Q}{75\eta}.$$

Для отыскания значений h_i на каждом участке (соответствующих минимальному значению W) составляем уравнения вида $\frac{\partial W}{\partial h_i} = 0$ и определяем из них h_i. Очевидно, число этих уравнений равно числу участков. Проведя диференцирование, получим:

$$-p_1\frac{\alpha}{m}(k)^{\frac{\alpha}{m}} b\frac{(Q_i^2 l_i)^{\frac{\alpha}{m}} l_i}{(h_i)^{1+\frac{\alpha}{m}}} + PQ = 0,$$

где

$$P = \frac{p_2 fr + 6\,450\sigma}{75\eta}.$$

Отсюда:

$$h_i = \left[\frac{(Q_i^2 l_i)^{\frac{\alpha}{m}} l_i}{\left(\frac{P}{p_1 b\frac{\alpha}{m} k^{\frac{\alpha}{m}}}\right) Q}\right]^{\frac{1}{1+\frac{\alpha}{m}}}.$$

Обозначив $\frac{P}{p_1 b\frac{\alpha}{m} k^{\frac{\alpha}{m}}}$ через A, получим:

$$h_i = \left[\frac{(Q_i^2 l_i)^{\frac{\alpha}{m}} l_i}{AQ}\right]^{\frac{1}{1+\frac{\alpha}{m}}} = \frac{Q_i^{\frac{2\alpha}{\alpha+m}} l_i}{(AQ)^{\frac{1}{1+\frac{\alpha}{m}}}}.$$

Для средних условий укладки чугунных водопроводных труб можно принять $b = 350$ и $a = 1{,}8$. Используя для определения потерь напора формулу Маннинга, будем иметь $m = 5{,}33$.

При этих условиях получим с достаточной степенью точности:

$$h_l = \frac{Q_i^{0,5} l_l}{(AQ)^{0,75}}.$$

Для Q *л/сек* $k = 1\,480 \cdot 10^{-12}$ и $b \frac{\alpha}{m} k^{\frac{\alpha}{m}} = 0{,}133$, т. е.

$$A = \frac{P}{0{,}133 p_1}.$$

Для водовода с одним сосредоточенным расходом Q в конечной точке расчетная формула примет вид:

$$h = \frac{l}{A^{0,75} Q^{0,25}}.$$

По найденным значениям h и заданным длинам l находятся величины гидравлических уклонов $i = \frac{h}{l}$ для каждого участка, а по i и Q при помощи расчетных таблиц или номограмм определяются значения ближайших имеющихся в сортаменте диаметров D

Если вывести непосредственно из формулы величину наивыгоднейшего диаметра водовода, то получим выражение:

$$D = M^{\frac{1}{\alpha+m}} \cdot Q^{\frac{3}{\alpha+m}}$$

или при $m = 5{,}33$ и $\alpha = 1{,}8$

$$D = M^{0,14} \cdot Q^{0,42},$$

где

$$M = \frac{Pk}{p_1 b^{\frac{\alpha}{m}}}.$$

§ 20. Технико-экономический расчет водовода при заданной величине напора в начальной точке

Рассмотрим возможность применения экономического принципа к расчету водовода с несколькими сосредоточенными по его длине расходами при условии, что напор в его начальной точке постоянен и задан (рис. 47). Требуемый свободный напор $H_{св}$ в конечной точке водовода тоже задан. Заданы также расходы воды Q в отдельных водоразборных точках и длины участков l. Задача сводится к тому, чтобы найти такие диаметры D отдельных участков водовода (или, что то же, потери напора на отдельных участках h), при которых стоимость водовода будет наименьшей при условии использования имеющегося напора $H = z_1 - (z_2 + H_{св})$.

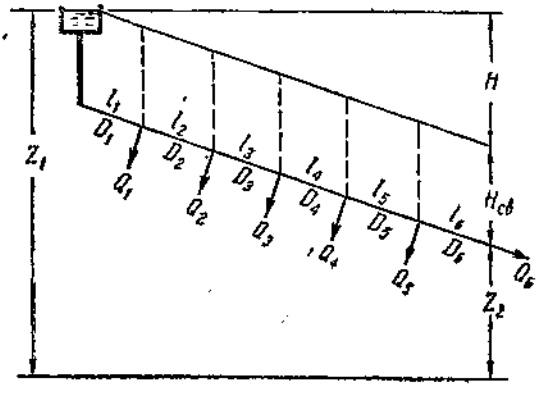


Рис. 47

Стоимость водовода можно выразить попрежнему формулой:

$$C = \sum_{i=1}^{i=n} (a + bD_i^2) l_i = \sum_{i=1}^{i=n} \left[a + bk \left(\frac{Q_i^2 l_i}{h_i} \right)^{\frac{\alpha}{m}} l_i \right].$$

Для решения задачи необходимо найти наименьшую величину C при условии соблюдения равенства $\Sigma h_i = H$.

Решение сводится к отысканию минимума функции вида $R = C + \beta H$, где β — величина, определяемая в процессе расчета.

В данном случае:

$$R = \sum_{i=1}^{i=n} \left[a + bk \left(\frac{Q_i^2 l_i}{h_i} \right)^{\frac{\alpha}{m}} l_i \right] + \beta \sum h_i.$$

Беря частные производные $\frac{\partial R}{\partial h_i}$ и приравнивая их нулю, получим систему уравнений для определения искомой величины h_i.

Для любого участка:

$$\frac{\partial R}{\partial h_i} = -\frac{\alpha}{m} bk \frac{\left(Q_i^2 l_i\right)^{\frac{\alpha}{m}} l_i}{h_i^{1+\frac{\alpha}{m}}} + \beta = 0.$$

Для определения неизвестной β используем равенство:

$$H = \Sigma h_i.$$

Подставляя значение β, выраженное через H, в полученную формулу для h, получим:

$$h_i = \frac{\left[\left(Q_i^2 l_i\right)^{\frac{\alpha}{m}} l_i\right]^{\frac{1}{1+\frac{\alpha}{m}}}}{\sum_{i=1}^{i=n} \left[\left(Q_i^2 l_i\right)^{\frac{\alpha}{m}} l_i\right]^{\frac{1}{1+\frac{\alpha}{m}}}} H = \frac{Q_i^{\frac{2\alpha}{\alpha+m}} l_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \left[Q_i^{\frac{2\alpha}{\alpha+m}} l_i\right]} H.$$

Заменяя h_i через D_i, получим:

$$D_i = \left[\frac{k_0}{H} \sum_{i=1}^{i=n} Q_i^{\frac{2\alpha}{\alpha+m}}\right]^{\frac{1}{m}} Q_i^{\frac{2}{\alpha+m}};$$

при $m = 5{,}33$, $\alpha = 1{,}8$ и $k_0 = 0{,}00148$

$$h_i = \frac{Q_i^{0,5} l_i}{\sum_{i=1}^{i=n} \left[Q_i^{0,5} l_i\right]} H \quad \text{и} \quad D = \left[22 \sqrt[5{,}33]{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} \left(Q_i^{0,5} l_i\right)}{H}}\right] Q_i^{0,28}.$$

Полученные выражения дают возможность определить экономически наивыгоднейшие величины потерь напора h_i или непосредственно диаметры D_i всех участков водовода в зависимости от расчетных расходов этих участков Q_i.

Определив все значения для h_i, следует вычислить величины гидравлического уклона i для каждого участка по формуле:

$$i_i = \frac{h_i}{l_i},$$

и затем по i и Q (пользуясь обычными расчетными таблицами) найти ближайший по сортаменту диаметр. При этом надо следить, чтобы полученные для реальных D потери напора в сумме не превышали H.

Из общего выражения гидравлического уклона видно, что i уменьшается с уменьшением расчетного расхода. Следовательно, при наивыгоднейшем распределении диаметров участков пьезометрическая линия будет обращена вогнутой стороной вниз.

*§ 21. Принципы технико-экономического расчета кольцевых водопроводных сетей при подаче воды насосной станцией

В данном случае задача сводится к определению диаметров труб всех участков сети при условии получения минимальной величины ежегодных затрат, т. е. при минимальных значениях функции W.

Так как в кольцевой сети расчетные расходы Q по каждому участку заранее не могут быть заданы, при решении задачи неизвестными будут диаметры D (или соответствующие им потери напора h).

Число неизвестных равно удвоенному числу участков сети, т. е. $2p$ (см. § 14).

Для решения задачи может быть составлено:

n уравнений типа $\Sigma h=\Sigma sq^2=0$ (по числу колец);

$m-1$ уравнений типа $\Sigma q=0$ (по числу узлов без одного);

p уравнений типа $\frac{\partial W}{\partial h}=0$ (по числу участков), т. е. всего

$$n+m-1+p=2p \text{ уравнений.}$$

Последние p уравнений получаем, приравнивая нулю частные производные величины ежегодных затрат, выраженных в функции потерь напора для отдельных участков.

Полученная система уравнений теоретически может дать решение задачи. Однако практически решение системы уравнений, из которых часть имеет степень, отличную от единицы, достигается лишь путем подбора. Задачу можно упростить, если, как и в гидравлическом расчете сети, задаться распределением транзитных расходов при условии соблюдения уравнений $\Sigma q=0$.

Тогда задача сведется к решению уравнений типа $\frac{\partial W}{\partial D}=0$, или $\frac{\partial W}{\partial h}=0$ при соблюдении условий увязки $\Sigma h=0$ для всех колец сети.

Часть выражения W, содержащая переменные величины h, будет иметь вид:

$$W_0=0{,}01\left[p_1 b k^{\frac{\alpha}{m}}\sum_{i=1}^{i=n}\frac{a_i}{h_i^{\frac{\alpha}{m}}}+PQ\sum_{i=1}^{i=n}h_i\right],$$

где

$$a_i=(Q_i^2 l_i)^{\frac{\alpha}{m}} l_i.$$

Для примера рассмотрим четырехкольцевую сеть (рис. 48). За независимые переменные потери напора можно принять потери всех участков кольца, кроме одного, например левого участка каждого кольца, т. е.:

$$h_{11},\ h_{21},\ h_{31},\ h_{41},\ h_{24},\ h_{33},\ h_{32} \text{ и } h_{42}.$$

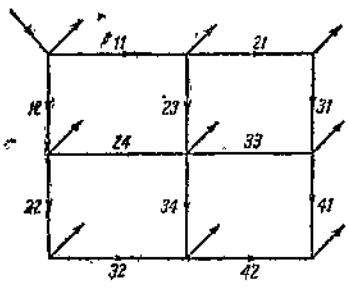


Рис. 48

Тогда остальные четыре переменных могут быть выражены через независимые переменные следующим образом:

$$h_{12}=h_{11}+h_{21}+h_{31}-h_{33}-h_{24};$$
$$h_{23}=h_{22}+h_{31}-h_{33};$$
$$h_{23}=h_{24}+h_{33}+h_{41}-h_{42}-h_{32};$$
$$h_{31}=h_{33}+h_{41}-h_{42}.$$

Эти уравнения выражают условия увязки колец сети.

Подставив выражения зависимых переменных в уравнение для W_0 и взяв частные производные по независимым переменным h_i, получим восемь уравнений для нахождения величин h_i:

1) $\frac{\partial W_0}{\partial h_{11}}=0$ или $\frac{a_{11}}{(h_{11})^{1+\frac{\alpha}{m}}}+\frac{a_{12}}{(h_{11}+h_{21}+h_{31}-h_{33}-h_{24})^{1+\frac{\alpha}{m}}}=AQ;$

2) $\frac{\partial W_0}{\partial h_{21}}=0$

или

$$\frac{a_{21}}{(h_{21})^{1+\frac{\alpha}{m}}}+\frac{a_{12}}{(h_{11}+h_{21}+h_{31}-h_{33}-h_{24})^{1+\frac{\alpha}{m}}}+\frac{a_{23}}{(h_{21}+h_{31}-h_{33})^{1+\frac{\alpha}{m}}}=AQ$$

и т. д.

Получилось восемь уравнений для восьми независимых переменных. Может быть дано легко запоминаемое правило конструирования подобных уравнений для любой сети. Обозначив для простоты выражение $\frac{a_{ik}}{(h_{ik})^{1+\frac{\alpha}{m}}}$ через R_{ik}, можно, используя восемь расчетных уравнений, написать следующие равенства:

$$\begin{aligned}
&R_{11}+R_{12}=AQ; && R_{23}+R_{24}=R_{33}+R_{34};\\
&R_{21}+R_{23}=R_{11}; && R_{31}=R_{21};\\
&R_{12}=R_{22}+R_{24}; && R_{32}+R_{34}=R_{42};\\
&R_{32}=R_{22}; && R_{31}+R_{33}=R_{41};\\
& && R_{41}+R_{42}=AQ.
\end{aligned}$$

Таким образом число уравнений равно числу узлов сети; первое и последнее уравнения дают тождество. Все величины R могут быть выражены одна через другую; при этом для каждого узла сети сумма R участков, подводящих воду к узлу, равна сумме R участков, отводящих воду от того же узла. В начальном участке сети сумма R равна AQ. При этом в точке питания сети $\Sigma R=AQ$.

Таким образом мы видим, что величины R подчиняются первому закону Кирхгофа.

Разделив все члены полученных уравнений на A и обозначив $\frac{R}{A}=xQ$, получим систему уравнений, выражающих первый закон Кирхгофа при распределении по заданной сети расхода Q, причем величины x показывают, какую часть от полного расхода Q составляет фиктивный расход $\frac{R}{A}$, идущий по данной линии:

$$\begin{aligned}
&\frac{R_{11}}{A}+\frac{R_{12}}{A}=Q \text{ или } x_{11}Q+x_{12}Q=Q;\\
&\frac{R_{21}}{A}+\frac{R_{23}}{A}=\frac{R_{11}}{A}; \quad x_{21}Q+x_{23}Q=x_{11}Q;\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&\frac{R_{41}}{A}+\frac{R_{42}}{A}=Q; \quad x_{41}Q+x_{42}Q=Q.
\end{aligned}$$

Равенства $\frac{R}{A}=xQ$ позвбляют установить зависимость между величиной экономически наивыгоднейшего гидравлического уклона данной линии и коэфициентом x.

При $m=5{,}33$ и $\alpha=1{,}8$

$$\frac{R}{A}=\frac{i^{\alpha}}{A(i)^{\frac{4}{3}}}=\frac{q^{\frac{2}{3}}}{A(i)^{\frac{4}{3}}}=xQ,$$

откуда

$$i=\frac{q^{0,5}}{(AxQ)^{0,75}}.$$

Инж. Л. Ф. Мошнин для отыскания коэфициентов x предлагает следующий метод.

При пропуске через сеть фиктивного расхода, равного единице, значения x соответствуют величинам фиктивных расходов, которые при этом пойдут по каждой линии сети. Это видно из уравнений, приведенных выше. При $Q=1$ эти уравнения примут вид:

$$x_{11}+x_{12}=1;$$
$$x_{21}+x_{23}=x_{11};$$
$$\ldots\ldots\ldots$$
$$\ldots\ldots\ldots$$

и т. д.

При пропуске через сеть фиктивных расходов x полученные (фиктивные) потери напора h_ϕ должны удовлетворять второму закону Кирхгофа, т. е. алгебраическая сумма потерь напора h_ϕ по любому замкнутому контуру сети должна быть равна нулю.

Величины потерь напора и сети при экономически наивыгоднейшем i будут:

$$h=il=\frac{q^{0,5}\,l}{(AQx)^{0,75}}.$$

Эти выражения можно представить в виде:

$$h=Msx^{-0,75},$$

где

$$M=(AQ)^{-0,75} \quad \text{и} \quad s=q^{0,5}\,l.$$

Величина s названа «условным коэфициентом сопротивления линии».

Тогда потеря напора от фиктивного расхода будет $h_\phi=sx^{-0,75}=\frac{h}{M}$, т. е. потери от фиктивных расходов для всех линий h_ϕ сети будут в M раз менее, чем действительные потери h.

На основании изложенного инж. Мошнин предложил следующий прием экономического расчета кольцевой сети:

1) После того как намечено распределение расходов воды по сети, определяются для всех линий „условные коэфициенты сопротивления" $s=lq^{0,5}$.

2) Через сеть от начальной точки до конечных точек схода пропускается условный расход, равный единице, и определяются величины x, удовлетворяющие первому и второму законам Кирхгофа. Увязка сети производится по фиктивным потерям $h_\phi=sx^{-0,75}$.

Алгебраическая сумма h_ϕ для каждого кольца должна быть равной нулю; кроме того, при равных требуемых пьезометрах, в конечных точках схода величины Σh_ϕ по всем направлениям от начальной точки до всех конечных точек схода должны быть одинаковы.

Далее, по h_ϕ (после увязки по ним сети) определяется для каждой линии экономически наивыгоднейший гидравлический уклон $i=\frac{h_\phi M}{l}$.

Глава V

УЧЕТ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДОПРОВОДА

§ 22. Взаимная связь в работе основных элементов водопроводной системы

Основными, тесно связанными между собой в работе элементами водопровода являются «насосы — водовод — башня» или «насосы — водовод — сеть — башня» (в зависимости от местоположения башни).

Рассмотрим совместную работу системы «насос — водовод — башня» при условии, что башня находится в начале сети. На станции установлены центробежные насосы, подающие воду по водоводу в башню. Как известно, у центробежного насоса при постоянном числе оборотов производительность Q и напор H связаны определенной для каждого типа насоса закономерностью: с увеличением Q уменьшается H.

Зависимость H от Q устанавливается эмпирически, путем испытания насосов в заводской лаборатории и выражается характеристической кривой или «характеристикой» QH (рис. 49).

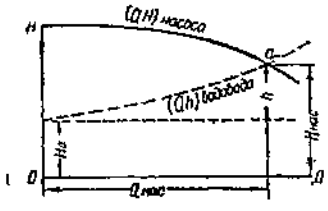


Рис. 49

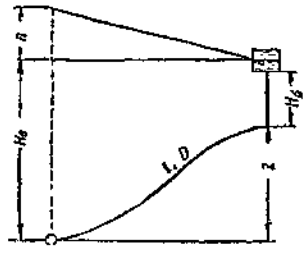


Рис. 50

Если центробежный насос, имеющий характеристику QH, подает воду по водоводу длиной l и диаметром D в башню, то действительное количество воды, подаваемое насосом, будет зависеть от напора, который устанавливается за насосом $H_{нас}$.

Последний слагается из геометрической высоты подъема воды H_0 (разность отметок уровня воды в баке башни и оси насоса) и величины напора h, теряемого в водоводе на трение (рис. 50).

Величина напора за насосом $H_{нас}$ может быть выражена в функции расхода:

$$H_{нас} = H_0 + h = H_0 + sQ^2,$$

где s — сопротивление водовода заданной длины l и диаметра D.

По уравнению $H_{нас} = H_0 + sQ^2$ можно построить кривую, дающую величину потери напора $h = sQ^2$ (в зависимости от Q), имеющую начальную ординату H_0. Эта кривая является „характеристикой" QH водовода.

При совместной работе насоса и водовода должны иметь место такие значения Q и H, которые одновременно являются общими для обеих характеристик (насоса и водовода).

Ввиду того что характеристика насоса дается обычно лишь графически в виде кривой QH, задача нахождения значений Q и H при сов-

местной работе насоса и водовода также решается графически (а не путем совместного решения уравнений).

Нанеся на рис. 49 характеристику водовода (Qh), получим точку пересечения ее с характеристикой насоса a, абсцисса которой дает искомую величину производительности насоса $Q_{нас}$, а ордината — искомый напор насоса $H_{нас}$. При неизменных показателях водовода и башни насос при постоянном числе оборотов, очевидно, будет постоянно подавать одно и то же количество воды $Q_{нас}$. Однако в реальных условиях работы водопровода в отдельные моменты изменяются условия работы как башни, так и водовода.

Изменение уровня воды в баке вызывает изменение геометрической высоты подъема воды H_0. Эта высота может колебаться от величины $H_{0\,min}$ при пустом баке до $H_{0\,max}$ ($H_{0\,min} + h_0$) — при полном баке (рис. 51).

Очевидно, это колебание уровня воды в баке будет влиять на величину напора насосов $H_{нас}$, а следовательно, и на их производительность $Q_{нас}$.

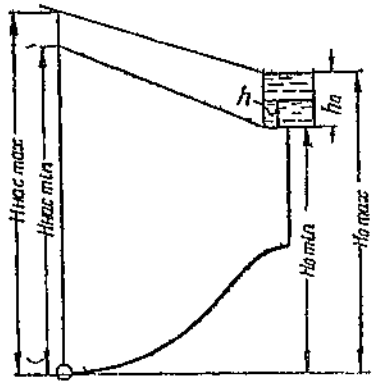


Рис. 51

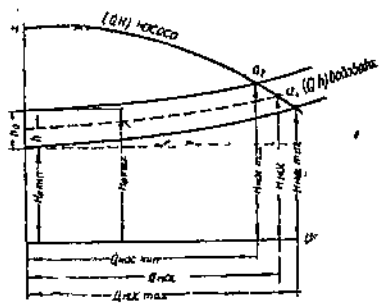


Рис. 52

Графически могут быть найдены пределы колебания $Q_{нас}$, а следовательно, и пределы колебания $H_{нас}$. Для этого строятся две кривые sQ^2: одна от начальной ординаты $H_{0\,min}$ и другая — от начальной ординаты $H_{0\,max}$. Точки пересечения этих кривых с характеристикой насоса a_1 и a_2 имеют своими координатами соответственно величины $Q_{нас\,max}$, $H_{нас\,min}$ и $Q_{нас\,min}$, $H_{нас\,max}$ (рис. 52).

С увеличением наполнения бака подача воды насосами уменьшается. Для любого промежуточного наполнения бака h по рис. 52 можно определить соответствующие величины $Q_{нас}$ и $H_{нас}$.

Эти соображения вносят некоторый корректив в приведенное выше построение графиков подачи воды насосами и в расчет регулирующей емкости баков. При построении графиков работы насосов принималась подача насосов постоянной, в результате чего график имел постоянную ординату в пределах работы каждого насоса. В действительности величина $Q_{нас}$ меняется в отдельные часы суток в зависимости от уровня воды в баке и график работы насосов будет иметь переменные ординаты. Характер этих изменений показан схематически на рис. 53, где дано сравнение графиков подачи без учета (кривая a) и с учетом (кривая $б$) влияния переменного уровня воды в баке при одном и том же графике потребления (кривая m).

По скорректированным графикам может быть найдена и уточненная емкость бака башни.

Влияние переменного уровня воды в баке на работу насосов тем сильнее, чем больший процент составляет высота бака от общей геометрической высоты подъема воды.

При значительной общей высоте подачи учет переменного уровня воды в баке дает значительную поправку к расчету насосов и определению емкости бака.

При малой разности отметок и невысокой башне с баками большей высоты влияние колебания уровня воды в них на работу насосов может быть ощутительным, например, если башня большой емкости расположена вблизи насосной станции.

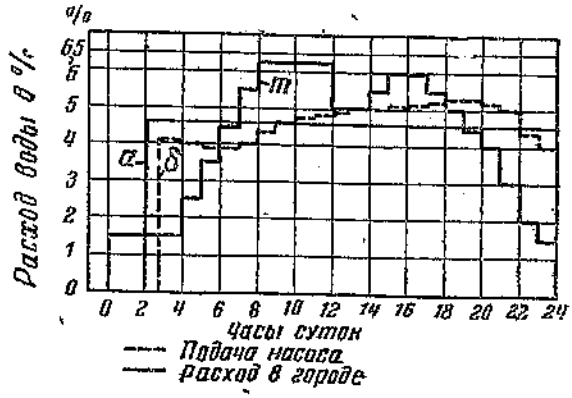


Рис. 53

При помощи характеристик насосов и показанных графических приемов решения можно внести коррективы в режим работы насосов и водоводов, вызываемые изменением уровня воды в баке.

§ 23. Переключение на водоводах

В практике работы водопроводов могут оказаться переменными и показатели, характеризующие водовод. Из соображений надежности работы системы водопровода водовод укладывается обычно из двух линий, т. е. двух параллельно уложенных трубопроводов. При обычной работе водопровода вода подается в обе линии одновременно, т. е. оба трубопровода работают, как параллельно включенные элементы. В случае аварии на одной линии она выключается и подача воды осуществляется по другой линии. Изменение числа работающих линий влечет за собой изменение сопротивлений в водоводе в целом, а следовательно, и изменение количества подаваемой воды. Практически важно знать, как будет реагировать насосная станция на выключение одной из линий водовода. Задача эта решается графически. Если некоторая кривая представляет характеристику одной линии водовода заданной длины и диаметра, то характеристика двух таких линий при их параллельной работе будет представлена второй кривой, абсциссы которой вдвое больше абсцисс первой кривой. Таким образом первая кривая дает зависимость величин подачи и теряемого напора при работе одного водовода, а вторая кривая — при работе двух одинаковых параллельно работающих водоводов. Точки пересечения этих кривых с характеристикой насоса определяют значения производительности и напора насоса при работе одного или двух водоводов. При аварии и выключении одной из линий водовода подача насосов падает.

Обычно допустимой величиной понижения подачи воды в случае аварии на водоводе заранее задаются (в зависимости от характера снабжаемого объекта).

При выключении целиком одной из двух линий процент снижения подачи воды весьма велик. Поэтому между линиями водоводов через определенные расстояния устраиваются переключения. Это позволяет во время аварии выключать не всю линию, а лишь поврежденный участок.

При помощи разобранных выше графических методов можно легко найти изменение подачи насосов при выключении поврежденного участка водовода. Пусть водовод состоит из двух линий дли-

ной L с переключениями через каждые $l=\frac{L}{n}$ м (рис. 54), где n — число переключений.

В обычное время по каждой нитке пойдет расход $\frac{Q}{2}$, где Q — полный расход, подаваемый насосами (рис. 54, *а*).

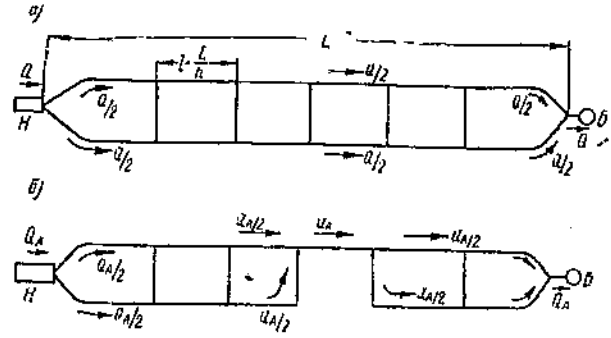


Рис. 54

Если сопротивление каждого участка обозначим через s, то сопротивление каждой линии будет ns.

Потеря напора в каждой нитке одинакова и равна:

$$h=(sn)\left(\frac{Q}{2}\right)^2=\frac{sn}{4}Q^2,$$

или, если обозначить сопротивление всей системы без аварии через S, то

$$h=SQ^2.$$

По этому уравнению может быть построена кривая Qh системы водоводов.

При аварии одного из участков (рис. 54, *б*) по $n-1$ участкам будет происходить полный расход $\frac{Q_A}{2}$ (где Q_A — расход, подаваемый насосами при аварии), а по одному участку — расход Q_A. Пренебрегая ничтожной величиной потерь напора в соединительных участках, получим величину полной потери напора в системе водовода при аварии:

$$h=s(n-1)\frac{Q_A^2}{4}+sQ_A^2=\left[\frac{s(n+3)}{4}\right]Q_A^2,$$

или, обозначив суммарное сопротивление системы при аварии через S_A, получим $h=S_AQ_A^2$.

Как видно, сопротивление водовода при аварии возросло: $S_A>S$; следовательно, подача воды при аварии понизится ($Q_A<Q$).

Чем больше переключений, тем меньше при аварии изменяется сопротивление системы и снижается количество подаваемой воды.

Сопротивление при аварии S_A можно выразить через сопротивление в период нормальной работы S таким образом:

$$S_A=\alpha S.$$

Здесь α зависит от числа участков, на которые разбит водовод при устройстве переключений. При сравнении приведенных выше выражений потерь напора в водоводе нетрудно увидеть, что $\alpha=\frac{n+3}{n}$; следовательно, при $n=2$ $\alpha=2^1/_2$; при $n=3$ $\alpha=2$; при $n=5$ $\alpha=1{,}6$; при $n=10$ $\alpha=1{,}3$.

При обслуживании системы центробежными насосами соответственным образом меняется и подача воды; так, при увеличении S уменьшается Q. Однако численно изменение Q зависит от характеристики

насоса и поэтому может быть найдено лишь графически. Построив кривые по уравнениям:

$$h=\left(\frac{sn}{4}\right)Q^2 \quad \text{и} \quad h=\left[\frac{s(n+3)}{4}\right]Q_A^2$$

с начальной ординатой H_0 и совместив их с характеристикой насоса, получим пределы изменения подачи воды насосами (рис. 55).

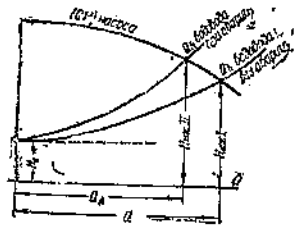


Рис. 55

Имея заданную величину допустимого снижения Q, можно подобрать число переключений. Обычно требуется, чтобы при аварии подача была не менее 75% от нормальной.

§ 24. Особенности расчета системы с контррезервуаром

При расположении башни в конце сети или в промежуточных точках сети комплекс взаимовлияющих друг на друга элементов водопроводной системы пополняется сетью. Создается комплекс: «насосы — водовод — сеть — башня».

В этом случае остается в силе влияние уровня воды в баке на работу насосов, остается влияние изменения пропускной способности водоводов на подаваемое количество воды, но добавляется еще влияние режима работы сети на работу всей системы водопровода. Сеть является элементом, расходующим воду в соответствии с требованиями потребителя, и режим отдачи ею воды определяется графиком водопотребления. При расположении башни в начале сети башня как бы изолировала сеть от насосов: все изменения расхода и напора в сети не проникали далее башни и не отражались на работе насосов. При расположении башни в конце сети насосы подают воду непосредственно в сеть и изменение водоразбора (вызывающее изменение давлений в сети) в этом случае влияет на насосы.

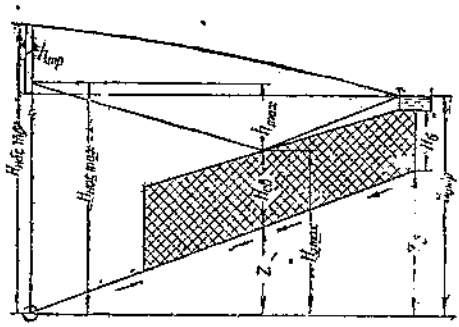


Рис. 56

В сети с контррезервуаром можно наметить два характерных периода ее работы: 1) период максимального водоразбора и 2) период максимального транзита в башню.

В те часы, когда водоразбор превышает подачу воды насосами, недостающее количество воды подается из башни и сеть в эти часы питается с двух сторон.

Граница зон питания передвигается в зависимости от изменения водоразбора и отношения количества воды, подаваемой насосами, к общему расходу воды городом. В расчетный момент максимального водоразбора напор насосов равен (рис. 56):

$$H_{нас\,max}=(z+H_{св})+h_{max}=H_{0\,max}+h_{max},$$

где H_{0max} — геометрическая высота подъема, равная суммарной величине геодезической отметки расчетной точки на границе зон питания z и свободного напора $H_{св}$; h_{max} — потеря в сети и водоводе от границы до насоса.

В часы транзита излом пьезометрической линии исчезает и в расчетный момент максимального транзита напор насосов равен:

$$H_{нас\,тр}=(z_б+H_б)+h^{тр}=H_{0\,тр}+h_{тр},$$

где $H_{0\,тр}$ — геометрическая высота подъема воды и
$h_{тр}$ — потеря напора в сети и водоводе при подаче в башню максимального транзитного расхода.

Для упрощения не учитываем изменения уровня воды в баке башни. Из начертания пьезометрических линий на рис. 56 видно, что в данном случае в моменты максимального водоразбора геометрическая высота подъема насосами меньше, чем при случае максимального транзита: $H_{0max} < H_{0\,тр}$. Следовательно, при определении действительной производительности насосов в часы максимального водоразбора характеристику суммарного сопротивления водовода и сети следует строить от уровня H_{0max}, а при случае максимального транзита от уровня $H_{0тр}$ (рис. 57). В действительности характери-

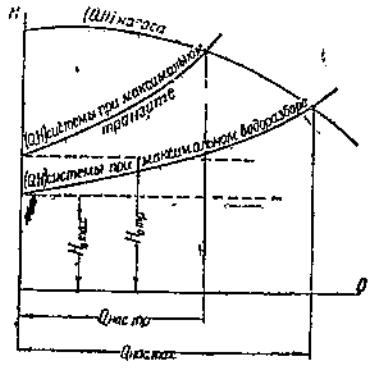


Рис. 57

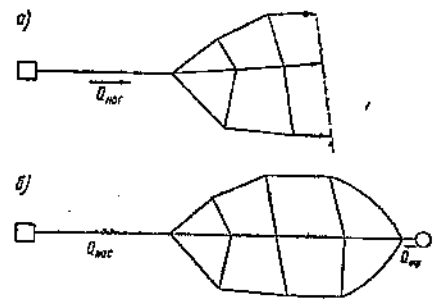


Рис. 58

стики сопротивления системы водопроводных сетей различны для двух рассмотренных расчетных случаев, так как при максимальном транзите от насосов будет питаться лишь часть сети с равномерно распределенным по ее длине водоразбором (рис. 58, *а*). В часы же максимального транзита насосы будут питать всю сеть с равномерным водоразбором по ее длине и с сосредоточенным расходом в ее конечной точке — у башни (рис. 58, *б*). В первом случае характеристика будет более пологой, а во втором — более крутой.

Построив такие характеристики и совместив их с характеристикой насосов, как показано на рис. 57, можно получить истинные значения производительности и напора насосов в различные моменты работы системы.

Построение характеристик сопротивления сети с учетом указанных обстоятельств является достаточно сложной задачей. На практике задача эта решается с приближенной точностью следующим упрощенным методом.

Установив из расчета сети при максимальном транзите величину потери напора $h_{тр}$ и соответствующий ей расход $Q_{max\,тр}$, ориентировочно намеченный по графику, определяют сопротивление системы $S = \frac{h_{тр}}{(Q_{нас\,тр})^2}$ и, считая условно, что величина S будет оставаться постоянной, строят уравнение характеристики сети:

$$h = SQ^2.$$

При этом форма характеристики сопротивления системы неизменна и будет меняться лишь пьезометрическая отметка конечной питающейся от насоса точки, т. е. H_{0max} или $H_{0\,тр}$ (рис. 57).

Приближенный расчет и пользование графическими характеристиками позволяют в первом приближении подойти к выяснению характера действительной работы насосов, как части комплекса «насосы — сеть — башня».

Глава VI

ЗОННЫЕ СИСТЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 25. Понятие о зонных системах водоснабжения

Зонными или зональными называются водопроводы, сеть которых разделяется на две или несколько отдельных зон с самостоятельными установками для подачи в них воды.

Деление водопроводной сети на зоны производится как по техническим, так и по экономическим соображениям. Если отдельные точки снабжаемой водой территории имеют значительную разность отметок, то в пониженных точках водопроводной сети могут оказаться весьма высокие давления. По условиям эксплоатации внутренних домовых водопроводов нежелательно допускать в наружной сети давление более 5—6 *ат*. При больших давлениях портится арматура внутренних водопроводов, повышается непроизводительная трата воды и т. д.

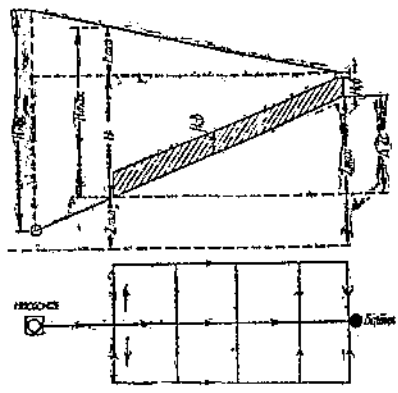


Рис. 59

При давлении более 10 *ат* применение чугунных труб нормального сортамента уже не допускается и требуется укладка стальных труб.

Поэтому избегают давлений в наружной сети более 8 *ат*.

Если в наиболее высокорасположенной точке сети (рис. 59) должен быть обеспечен свободный напор $H_{св}$, то напор в ее нижней точке при отсутствии зонирования будет:

$$H_{max} = (z_{max} - z_{min}) + H_{св} + h_{max},$$

где $z_{max} - z_{min} = \Delta z$ — максимальная разность высотных отметок в пределах снабжаемой территории и h_{max} — максимальная по величине потеря напора в сети в пределах той же территории.

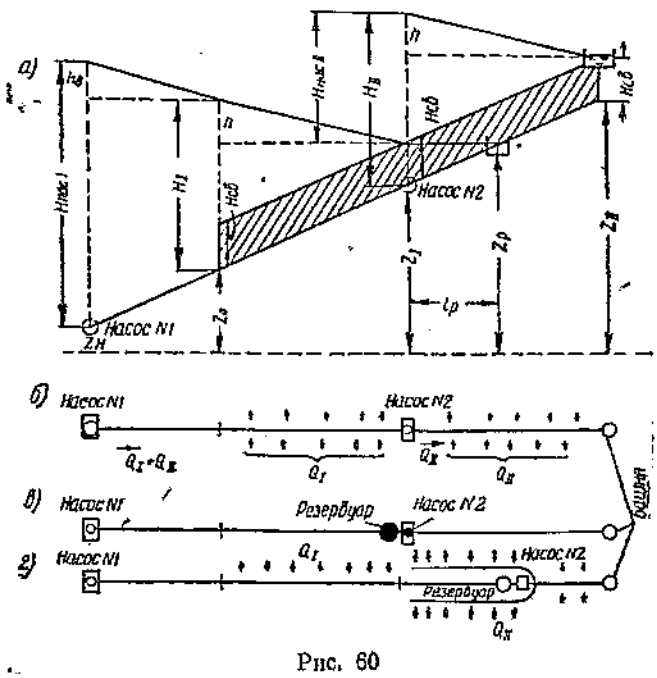


Рис. 60

Если полученная величина H_{max} превышает допустимые пределы, то разделение сети на зоны осуществляется так, чтобы в пределах каждой зоны напор не превышал допустимой величины.

Зонирование может быть осуществлено по «последовательной» или по «параллельной» системе. В первом случае отдельные зоны соединяются последовательно, как это показано на рис. 60; во втором случае зоны включены параллельно (рис. 62). При последовательном зонировании

каждая насосная станция подает количество воды, потребляемое всеми вышележащими зонами.

Так, для системы, показанной на рис. 60, *а* и *б*, насосная станция № 1 подает количество воды, равное сумме расходов нижней (I) и верхней (II) зон ($Q_I + Q_{II}$). При этом расход верхней зоны Q_{II} проходит транзитом через сеть нижней зоны. Насосная станция № 2 подает лишь расход для верхней зоны Q_{II}. Насосы нижней зоны должны обеспечить требуемый свободный напор $H_{св}$ лишь в пределах нижней зоны. Отсюда напор в наинизшей точке системы выразится величиной: $H_I = H_{св} + h + (z_I - z_0)$, а напор, создаваемый насосами нижней зоны: $H_{нас\,I} = H_{св} + h + h_в + (z_I - z_н)$.

Насосы верхней зоны должны удовлетворять требованиям обслуживаемой ими зоны, и создаваемый ими напор будет:

$$H_{II} = H_{св} + h + (z_{II} - z_I).$$

Расчетная величина подъема воды насосами верхней зоны определяется в зависимости от способа забора ими воды. В ряде случаев они могут питаться непосредственно от сети нижней зоны, т. е. получать воду под напором $H_{св}$. Тогда насосы должны создавать только дополнительную высоту подъема:

$$H_{нас\,II} = H_{II} - H_{св}.$$

Если насосы верхней зоны забирают воду из резервуара, питаемого от нижней зоны (рис. 60, *в*), то расчетная высота подъема воды этими насосами $H_{нас\,II} = H_{II}$.

Так как для нижней зоны в большинстве случаев необходимо иметь свою регулирующую емкость, ее устраивают на территории верхней зоны в виде подземного резервуара, причем отметка расположения резервуара должна быть выбрана с учетом режима работы сети нижней зоны. Этот резервуар служит одновременно контррезервуаром для нижней зоны и источником питания насосов верхней зоны (рис. 60, *г*).

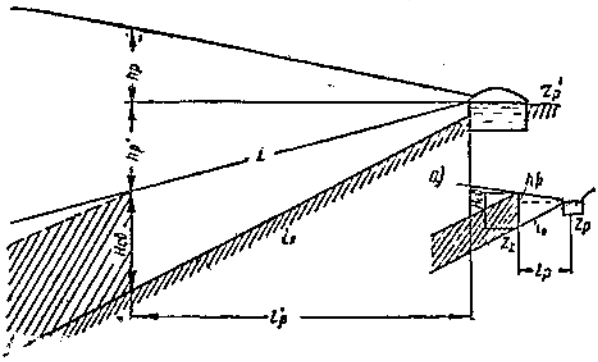


Рис. 61

Если количество воды, подаваемой насосами станции № 1, всегда превышает количество воды, расходуемой нижней зоной, то вода будет постоянно поступать в резервуар и пьезометрическая линия в пределах нижней зоны будет постоянно иметь уклон одного знака. В этом случае высотная отметка резервуара определяется согласно схеме рис. 61, *а*.

$$z_p = z_1 + H_{св} - h_p,$$

где h_p — потеря в линии, соединяющей резервуар с сетью нижней зоны, при минимальной величине транзита.

Надежнее принимать $h_p = 0$, и тогда резервуар должен быть расположен на отметке, равной пьезометрической отметке в конечной точке сети нижней зоны $z_p = z_1 + H_{св}$.

При этом расстояние от верхней границы нижней зоны до резервуара в плане составляет: $l_p = \frac{H_{св}}{i_0}$, где i_0 — средний уклон местности на этом расстоянии.

Если сеть нижней зоны имеет в некоторые моменты расход, превышающий подачу насосов станции № 1, то питание ее осуществляется с двух сторон — от насосов и от резервуара (работающего, как контррезервуар). В этом случае высотная отметка резервуара определяется с учетом величины потери в линии, соединяющей резервуар с сетью при обратном течении воды h_p' (рис. 61, *б*), т. е. отметка резервуара будет на величину h_p' больше пьезометрической отметки в конечной точке сети нижней зоны

$$z_p' = z_1 + H_{св} + h_p'.$$

Расстояние l_p' в этом случае составит: $l_p' = \frac{H_{св}}{i_0 - i}$, где i — гидравлический уклон линии l при максимальной величине подачи воды из резервуара.

Таким образом при зонировании максимальный напор, создаваемый в пределах каждой зоны, составляет часть максимального напора, создаваемого в той же системе без зонирования.

При последовательной системе зонирования с одинаковой величиной зон (по высоте и по расходу воды) насосы каждой зоны создают одинаковые напоры, но имеют различную подачу: от Q — для верхней зоны до nQ — для нижней зоны (Q — водопотребление одной зоны и n — число зон). При параллельной системе зонирования в пределах каждой зоны должны быть обеспечены те же условия, что и в последовательной системе.

Разница в том, что при параллельном зонировании питание каждой зоны совершается независимо насосной станцией, расположенной обычно у основного источника питания. В этих целях на насосной станции устанавливаются отдельные для каждой зоны насосы. Каждый из них подает в свою зону определенное количество воды под напором, соответствующим отметкам зоны (рис. 62). При параллельной системе и одинаковой величине зон производительность насосов всех зон одинакова (Q), а создаваемые напоры меняются от H — для нижней зоны до nH — для верхней.

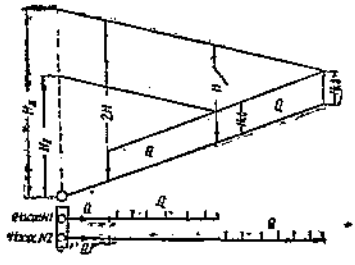


Рис. 62

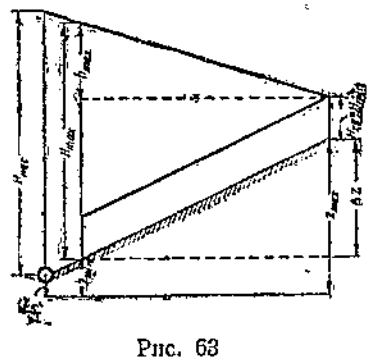


Рис. 63

§ 26. Основные принципы проектирования зонных водопроводов

При проектировании зонного водопровода основными вопросами являются: а) выбор числа зон, б) выбор системы зонирования.

Решение этих вопросов зависит от технических и экономических соображений и от местных условий.

Число зон определяется в зависимости от необходимости обеспечить в сети напоры, допускаемые техническими условиями эксплоатации водопровода. Расчетная высота зоны, т. е. разность отметок местности в пределах одной зоны, составит (рис. 63):

$$\Delta z = (z_{max} - z_{min}) = H_{max} - H_{св} - h_{max}.$$

Если ограничить максимальное допустимое давление в сети $H_{max} = 80$ *м*, то, приняв для различной этажности величины $H_{св}$ согласно нормам, получим:

для	2-этажной	застройки	$\Delta z = 80 - 12 - h_{max} = 68 - h_{max}$
»	3	»	»	$\Delta z = 80 - 16 - h_{max} = 64 - h_{max}$
»	4	»	»	$\Delta z = 80 - 20 - h_{max} = 60 - h_{max}$
»	6	»	»	$\Delta z = 80 - 30 - h_{max} = 50 - h_{max}$
»	8	»	»	$\Delta z = 80 - 40 - h_{max} = 40 - h_{max}$

Ввиду того что потери напора в сети в пределах одной зоны обычно не превышают $h_{max} = 10$ *м*, можно принять ориентировочно расчетную высоту зон, застроенных зданиями в 2, 3, 4, 6 и 8 этажей соответственно в 60, 50, 40 и 30 *м*.

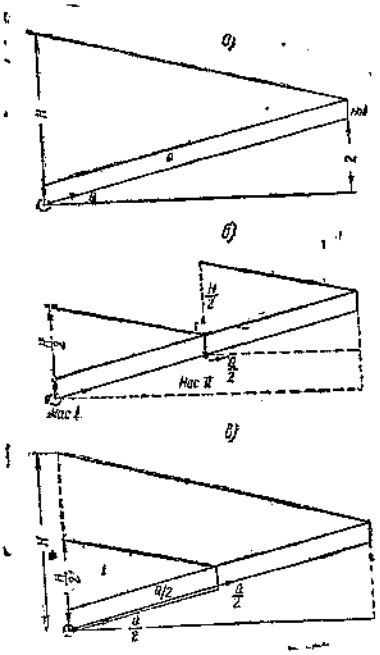


Рис. 64

Зонирование может быть обусловлено также и чисто экономическими соображениями. Увеличение числа зон уменьшает общую расчетную мощность насосных станций и, следовательно, уменьшает количество и стоимость расходуемой энергии.

В единой централизованной системе водоснабжения напор, который должны создавать насосы, определяется по самой неблагоприятно расположенной водоразборной точке, наиболее возвышенной и удаленной от источника питания.

Остальные водоразборные точки требуют меньших напоров. При единой сети в этих точках создается излишний напор.

Так, для системы, схематически изображенной на рис. 64, весь расход Q без зонирования подается насосами под напором H, требующимся для верхней критической точки, и количество затрачиваемой на подачу воды энергии (без потерь) может быть характеризовано величиной: $Э = QH$, выражаемой в *кем/сек*, если принять вес 1 *л* воды за 1 *кг* (рис. 64, *а*).

Группируя отдельных потребителей по зонам и осуществляя самостоятельную подачу воды в каждую зону, можно уменьшить расход энергии. Так, разделив сеть (рис. 64, *б*) на две зоны высотой $\frac{H}{2}$, с расходом $\frac{Q}{2}$ в каждой из них, получим расход энергии при последовательной системе зонирования для первой станции:

$$Э_I = Q\frac{H}{2} = \frac{QH}{2}$$

и для второй станции:

$$Э_{II} = \frac{Q}{2} \cdot \frac{H}{2} = \frac{QH}{4},$$

а всего:

$$Э = \frac{3}{4} QH.$$

При параллельном зонировании (рис. 64, *в*):

$$Э_I = \frac{Q}{2} \cdot \frac{H}{2} = \frac{QH}{4}; \quad Э_{II} = \frac{Q}{2} H = \frac{QH}{2}$$

и

$$Э = \frac{3}{4} QH,$$

т. е. при обеих системах зонирования при разделении сети на две зоны получим уменьшение энергии, затрачиваемой для подъема воды на 25%.

Для случая разделения системы на n равных зон (по напору и расходу) суммарная затрата энергии на подъем воды всеми станциями $Э_n$ может быть приближенно выражена:

$$Э_n = \frac{n+1}{2n} Э,$$

где $Э = QH$ — количество энергии для подъема воды в той же системе без зонирования.

Таким образом при увеличении числа зон уменьшается количество затрачиваемой энергии, а следовательно, и стоимость подачи воды. Изменение величины ежегодных затрат, связанных с расходом электроэнергии в зависимости от изменения числа зон, можно схематически выразить кривой $C_Э$ (рис. 65).

При последовательной системе зонирования с увеличением числа зон n растет число отдельных насосных станций и, следовательно, увеличивается общая их строительная стоимость. Приведенная к ежегодным затратам стоимость эта может быть выражена схематически кривой $C_Н$.

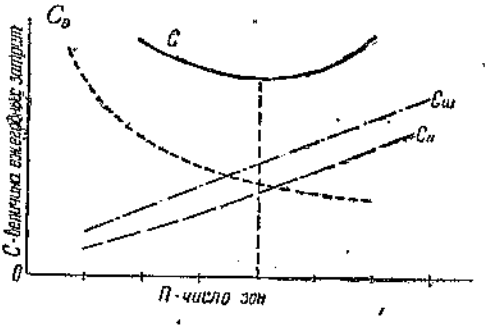


Рис. 65

Кроме того, растет и стоимость содержания штата станций $C_ш$ пропорционально их числу, а следовательно, и числу зон.

Суммарная величина ежегодных затрат может быть выражена суммарной кривой C (суммирующей ординаты кривых $C_Э$, $C_Н$ и $C_ш$).

Абсцисса, соответствующая минимальной ординате этой кривой, дает значение теоретически наивыгоднейшего числа зон.

Экономически наивыгоднейшее число зон растет с увеличением единичной стоимости электроэнергии, общей мощности водопровода и максимальной разности отметок снабжаемой территории. Расчетная высота зоны уменьшается с увеличением суммарного расхода воды снабжаемым объектом и стоимости энергии и увеличивается с увеличением общей величины разности отметок в пределах снабжаемой местности.

Ввиду большого числа и разнообразия факторов, на нее влияющих, экономически наивыгоднейшая расчетная высота зоны Δz может колебаться в широких пределах.

Для малых городов (с незначительным расходом воды) в зависимости от стоимости энергии величина Δz колеблется от 60 до 100 *м* и более, т. е. она близка к величине Δz, допустимой по техническим соображениям, и даже превосходит ее.

В больших городах экономически наивыгоднейшая величина Δz колеблется в пределах от 25 до 40 *м*.

Отсюда можно заключить, что для объектов с малым расходом выбор числа зон диктуется преимущественно техническими соображениями (соблюдение допустимых напоров); назначение же числа зон по экономическим соображениям может иметь место для объектов с относительно большим водопотреблением.

При параллельной системе зонирования уменьшение стоимости энергии при увеличении числа зон n подчиняется тому же закону, что и при последовательной системе. Увеличение стоимости насосной станции с увеличением n при параллельной системе будет итти значительно медленнее, чем при последовательной системе, так как увеличива-

ются лишь размеры и оборудование одной станции, а не их число. Но при параллельной системе с увеличением числа зон ощутительно увеличивается стоимость водоводов, проводящих воду от станции до нижней зоны. Стоимость же содержания штата, благодаря наличию одного насосного здания с увеличением числа зон почти не изменяется. Это обстоятельство выгодно характеризует систему параллельного зонирования по сравнению с последовательным.

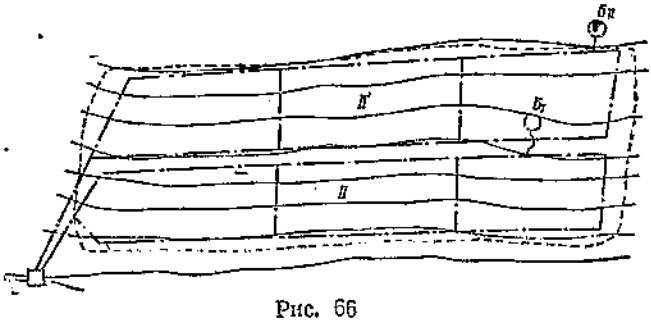


Рис. 66

Стоимость водоводов определяется, главным образом, расстоянием L от источника водоснабжения до границы снабжаемой территории.

При незначительном расстоянии L расчетная высота зоны в системе параллельного зонирования будет меньше, чем в системе последовательного зонирования; иными словами, при малых L зонирование более рентабельно по параллельной системе, чем по последовательной.

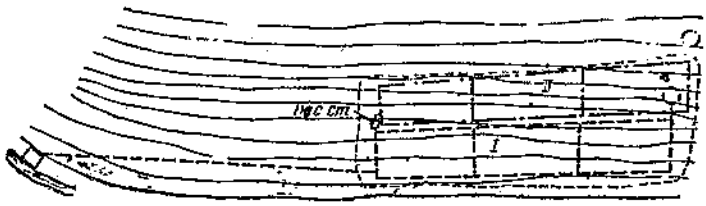


Рис. 67

В общем выбор системы зонирования зависит от следующих условий: а) удаленности источника, б) конфигурации снабжаемой территории, в) рельефа местности.

На основе сказанного можно сделать вывод, что параллельное зонирование более рационально для городов с территорией, растянутой вдоль горизонталей (рис. 66), так как в этом случае расстояние водоводов от насосной станции до каждой из зон будет сравнительно малым.

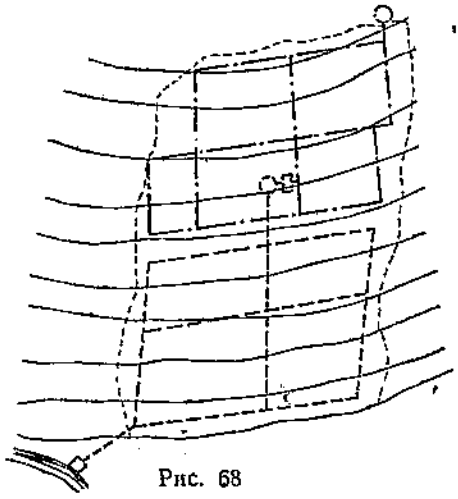


Рис. 68

При подобной же конфигурации территории, но значительном удалении источника параллельное зонирование менее выгодно, и более целесообразным становится устройство станций подкачки, т. е. последовательного зонирования (рис. 67). При застройке, вытянутой в направлении, перпендикулярном горизонталям (рис. 68), более рентабельным является зонирование по последовательной системе, так как увеличение числа станций может обойтись дешевле, чем укладка дополнительных водоводов значительного в данном случае протяжения. Поскольку расстояние между границами зон («длина» зон) зависит от рельефа местности, постольку можно сказать, что наиболее короткие расстояния будут иметь место при наибольшем уклоне местности.

Следовательно, параллельная система зонирования, вообще говоря, будет рентабельной при больших уклонах местности, последовательная же — при малых.

Ввиду исключительного разнообразия местных условий могут быть различные комбинации зонных систем. Например, если возвышенная часть обслуживаемой территории расположена в непосредственной близости к источнику (рис. 69), целесообразно устройство системы параллельного зонирования. При расположении источника со стороны территории с низкими отметками (рис. 70) целесообразной становится система последовательного зонирования.

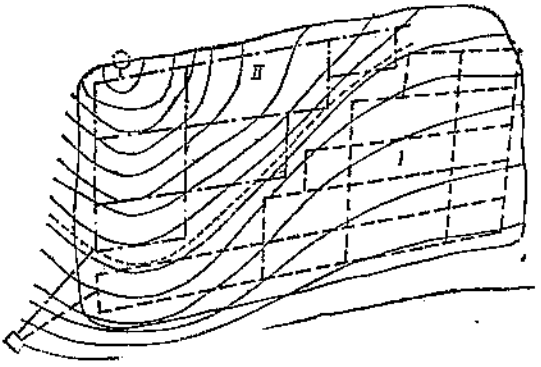


Рис. 69

При рельефе территории, показанном на рис. 71, *а*, целесообразно устройство параллельной системы и для территории, изображенной на рис. 71, *б*, — последовательной.

Высказанные соображения касаются двухзонных систем, однако они могут быть распространены на любое число зон.

Зонирование водопроводных сетей по напорам имеет место не только при большой разности отметок обслуживаемой территории, но и при значительном протяжении сети на плоской местности. Нарастание напора в начальных точках сети вследствие значительных потерь может привести к недопустимым, по техническим соображениям, давлениям в трубах. В связи с этим в данном случае также может оказаться нецелесообразным подавать воду для всей системы под напором, диктуемым величиной потерь до конечной точки сети. Зони-

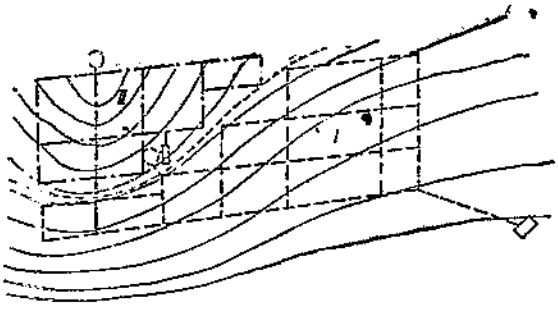


Рис. 70

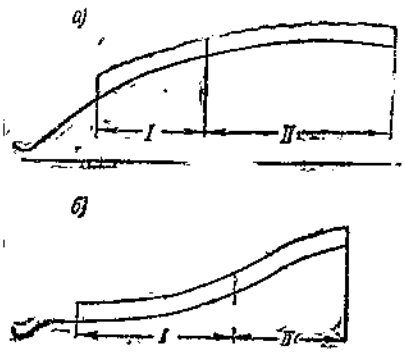


Рис. 71

рование этих систем называется часто «горизонтальным зонированием» в противоположность зонированию систем на местности с резко выраженным рельефом.

Горизонтальное зонирование ввиду значительной «длины» зон, обусловливаемой относительно медленным нарастанием потерь напора, всегда рентабельнее устраивать по последовательной системе.

Подобные системы рациональны в водопроводах крупных городов, где для отдельных районов устраиваются свои районные «станции подкачки», повышающие напор для своего района. На рис. 72 дана схема расположения станций подкачки одного из районов крупного города. Ввиду того, что с увеличением числа станций растет стоимость обслу-

живающего персонала (составляющая значительный расход в бюджете городского водопровода), в США устраивают автоматические станции подкачки, на которых пуск насосов происходит автоматически при падении напора ниже заданной величины.

Гидравлический расчет зонных систем производится по тем же принципам, что и расчеты обычных водопроводов, но при расчете сетей

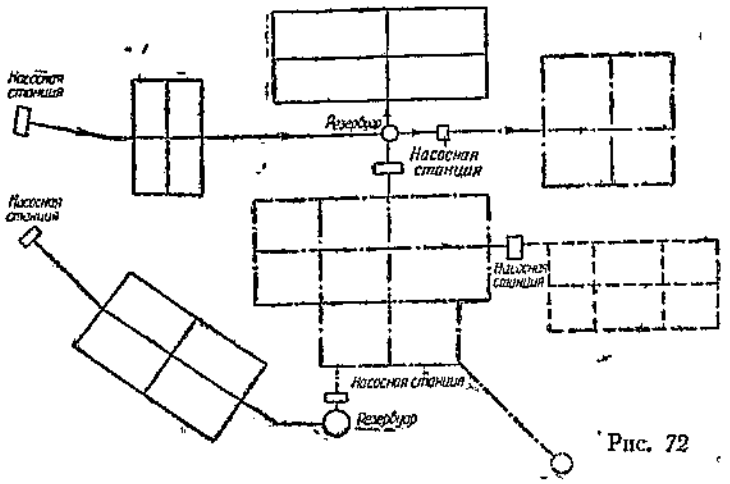


Рис. 72

нижних зон должна быть учтена связь их с верхними зонами. Примерами такой связи могут служить: транзит воды в верхние зоны — постоянный или переменный, в зависимости от соотношения величин водопотребления; тушение пожара, с забором воды из подземного регулирующего резервуара; пополнение пожарного запаса, которое в подобных случаях должно проходить транзитом через сети нижних зон.

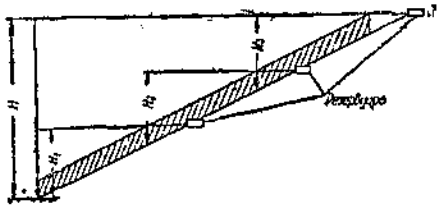


Рис. 73

Несколько отличная схема зонных водопроводов может иметь место при расположении источника на отметках, превышающих отметки снабжаемой территории, т. е. при подаче воды самотеком.

Если создаваемый напор приводит к чрезмерно высоким давлениям в нижних частях единой сети, то устраивают систему «обратного зонирования», разделяя сеть на две или несколько зон с промежуточными резервуарами, обслуживающими ближайшую нижнюю зону и получающими воду от верхней зоны (рис. 73). Подобная система применена в ряде городов, расположенных в гористых местностях.

Глава VII

ВОДОПРОВОДНЫЕ ТРУБЫ И СПОСОБЫ ИХ УКЛАДКИ

§ 27. Трубы, применяемые в наружных водопроводных сетях

Для устройства водопроводной сети и водоводов применяются трубы разных типов из различных материалов.

Применение того или иного вида труб зависит от величины требуемого напора, от геологических условий в районе укладки, способа прокладки (в земле, в каналах), а также от экономических факторов и местных условий, определяющих возможность получения и доставки

труб заводских типов, либо изготовления их на самом строительстве.

Так как стоимость водоводов и сетей составляет значительную часть от стоимости всей системы водопровода (50—70%), правильный выбор типа и материала труб имеет большое экономическое значение.

В современной практике строительства водопроводов имеют применение трубы из следующих материалов: 1) чугунные, 2) стальные, 3) асбестоцементные, 4) бетонные и железобетонные, 5) деревянные.

§ 28. Чугунные водопроводные трубы

Чугунные водопроводные трубы изготовляются заводским способом из серого чугуна путем вертикальной отливки в виде отдельных звеньев длиной от 2 до 5 *м*.

По типу стыка, т. е. по способу соединения отдельных труб между собой, различают два вида чугунных труб: раструбные (рис. 74, *а*) и фланцевые (рис. 74, *б*). Первые имеют вид гладкого цилиндра с уширением на одном конце, в виде раструба. Вторые — на обоих концах цилиндра имеют тарелкообразные приливы, так называемые фланцы с отверстиями для соединительных болтов.

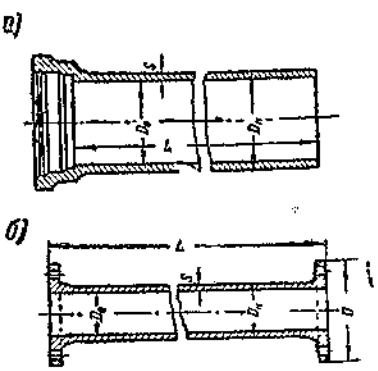


Рис. 74

В настоящее время чугунные водопроводные трубы изготовляются у нас по Общесоюзному стандарту (ОСТ 12523-40), утвержденному в 1940 г., и рассчитаны на рабочее гидравлическое давление не более 10 *кг/см*.

Раструбные трубы предназначаются, как правило, для укладки в земле и являются наиболее распространенным типом труб, применяемых при устройстве наружных водопроводных сетей.

Основные размеры их приведены в табл. 14.

Таблица 14

Внутренний диаметр D_0 *мм*	Толщина стенки s *мм*	Наружный диаметр $D_н$ *мм*	Длина трубы L *мм*	Вес трубы *кг*
50	7,5	65	2 000	23,9
75	8	91	3 000	51,2
100	8,5	117	3 000	70,7
125	9	143	3 000	91,8
150	9,5	169	3 000	115
200	10,5	221	4 000	218
250	11,5	273	4 000	296
300	12,5	325	4 000	385
350	13	376	4 000	468
400	14	428	4 000	574
450	15	480	4 000	692
500	16	532	5 000	1 006
600	18	636	5 000	1 358
700	21	742	5 000	1 848
800	24	848	5 000	2 417
900	27	954	5 000	3 064
1 000	30	1 060	5 000	3 794

В соответствии с ОСТ фланцевые трубы изготовляются диаметром до 200 *мм*.

Основные размеры фланцевых труб приведены в табл. 15.

Таблица 15

Внутренний диаметр D_0 *мм*	Толщина стенки s *мм*	Наружный диаметр $D_н$ *мм*	Болты: число	Болты: диаметр *мм*	Диаметр фланца D *мм*	Диаметр по центрам отверстий для болтов D_1 *мм*	Длина трубы L *мм*	Вес трубы *кг*	Примечание
50	7,5	65	4	16	165	125	2 000	25	Трубы
75	8	91	4	16	200	160	3 000	53,8	
100	8,5	117	4	16	220	180	3 000	72,1	
125	9	143	8	16	250	210	3 000	94,5	
150	9,5	169	8	20	285	240	3 000	118	
200	10,5	221	8	20	340	295	3 000	172	
250	—	273	12	20	395	350	—	—	Фасонные части
300	—	325	12	20	445	400	—	—	
350	—	376	16	20	505	460	—	—	
400	—	428	16	22	565	515	—	—	
450	—	480	20	22	615	565	—	—	
500	—	532	20	22	670	620	—	—	
600	—	636	20	27	700	725	—	—	
700	—	742	24	27	895	840	—	—	
800	—	848	24	30	1 015	950	—	—	
900	—	954	28	30	1 115	1 050	—	—	
1 000	—	1 060	28	30	1 230	1 160	—	—	

Приведенные в табл. 15 размеры для диаметров более 200 *мм* относятся к соответствующим фасонным частям (с фланцами).

Фланцевые трубы вследствие характера их стыковых соединений не рекомендуются к укладке в земле, а обычно монтируются в туннелях, каналах, галлереях, а также внутри зданий насосных и очистных станций, башен и резервуаров.

Для предохранения металла от коррозии наружная поверхность чугунных труб покрыта асфальтом.

Основным недостатком чугунных труб является относительная их хрупкость (плохое сопротивление динамическим нагрузкам) и значительный расход металла, по сравнению со стальными трубами.

Монтаж узлов на сети осуществляется при помощи специальных деталей — так называемых фасонных частей. Изготовляются они также из чугуна заводским способом путем отливки (горизонтальной). Размеры и типы фасонных частей установлены тем же ОСТ 12523-40.

Различные виды фасонных частей и их условные обозначения (для чертежей) приведены в табл. 16, а характеристика и назначение их приводятся ниже.

Для устройства ответвлений применяются тройники (табл. 16, эскизы 3 и 4) и крестовины (табл. 16, эскизы 5 и 6). Для удобства монтажа и упрощения узлов тройники и крестовины изготовляются с диаметром ответвлений, равным или меньшим диаметра основного ствола.

Изменение направления линий осуществляется при помощи колен с углом поворота в 90° (табл. 16, эскизы 9, 10 и 11) и отводов с углом поворота в 10, 30 и 45° (эскизы 12 и 13).

Для изменения диаметра сети на прямых участках применяются «переходы» (эскизы 14 и 15), а для соединения раструбных труб с фланцевыми — патрубки (эскизы 16 и 17).

Гладкие концы раструбных труб могут быть соединены между собой при помощи «двойного раструба» (эскиз 18). Для закрытия наглухо

фланцевых отростков применяются так называемые фланцевые заглушки (глухой фланец) (эскиз 21).

Кроме перечисленных фасонных частей, применяемых собственно для монтажа узлов, изготовляются также фасонные части специального назначения. Из них в первую очередь следует указать на выпуски (эскизы 7 и 8) для опорожнения сети; седелки (эскизы 22 и 23) для присоединений к наружной сети ответвлений к зданиям; муфты надвижные и свертные (эскизы 19 и 20), употребляемые, главным образом, при ремонтных работах на сети.

Таблица 16

№ эскиза	Эскиз	Условное обозначение на схемах	Наименование
1			Труба раструбная
2			Труба фланцевая
3			Тройник фланцевый
4			Тройник раструб-фланец
5			Крест фланцевый
6			Крест раструб-фланец
7			Выпуск фланцевый
8			Выпуск раструбный
9			Колено фланцевое
10			Колено раструбное
11			Колено раструб-гладкий конец
12			Отвод раструбный
13			Отвод раструб-гладкий конец
14			Переход фланцевый
15			Переход раструб-фланец
16			Патрубок фланец-раструб
17			Патрубок фланец-гладкий конец
18		X	Двойной раструб
19			Муфта надвижная
20			Муфта свертная
21			Заглушка фланцевая
22			Седелка фланцевая
23			Седелка с резьбой

Узлы сети, монтируемые из фасонных фланцевых частей, должны располагаться в специальных колодцах.

В существующих водопроводных сетях распространены чугунные трубы старых сортаментов, отличающиеся от труб, изготовленных согласно ОСТ 1940 г.

В частности, еще в 1901 г. V Водопроводным съездом был утвержден «нормальный метрический сортамент чугунных водопроводных труб», в соответствии с которым до 1932 г. и изготовлялись чугунные трубы.

Одновременно, по заказам отдельных водопроводов, изготовлялись чугунные трубы по так называемому дюймовому сортаменту. Раструбные трубы по сортаменту V съезда отличаются формой раструба и, кроме того, со стороны гладкого конца имеют утолщение, так называемый «бурт». Фланцевые трубы отличаются длиной, числом отверстий для болтов и очертаниями фланцев.

По сравнению с сортаментом V съезда сортамент фасонных частей в последующих ОСТ был значительно видоизменен.

В 1932 г. был принят стандарт на чугунные водопроводные трубы и фасонные части (ОСТ 4943—4955). В 1937 г. ОСТ этот подвергся переработке с добавлением некоторых фасонных частей и внесением изменений в технические условия. Этот новый стандарт (ОСТ 2523) действовал до 1940 г., когда и был заменен ОСТ 12523-40, выдержки из которого приведены в табл. 14, 15 и 16.

Кроме данных о конструкции и размерах труб и фасонных частей, ОСТ содержит технические условия, которым должны удовлетворять эти изделия, правила их приемки, а также величины допускаемых отклонений от установленных размеров и форм.

§ 29. Стыковые соединения чугунных раструбных труб

Стыковое соединение двух соседних труб должно обеспечивать водонепроницаемость и прочность. Стыки уложенных в землю труб должны обладать некоторой гибкостью, допускающей незначительные повороты двух соседних труб (одна относительно другой) без нарушения прочности стыка.

Особенно это необходимо при неравномерной плотности грунта и возможности его просадки.

Соединение раструбных труб осуществляется путем ввода гладкого конца одной трубы в раструб другой с заполнением образовавшегося кольцевого пространства уплотняющими материалами.

Вначале производится конопатка стыка, для чего в глубь раструба (на $^2/_3$ его глубины) закладывается в несколько оборотов просмоленный канат *а* (рис. 75), уплотняемый ударами молотка по специальному инструменту, так называемой «конопатке» (рис. 76, *а*).

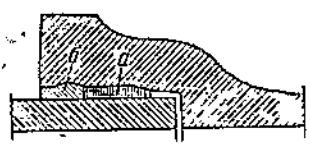


Рис. 75

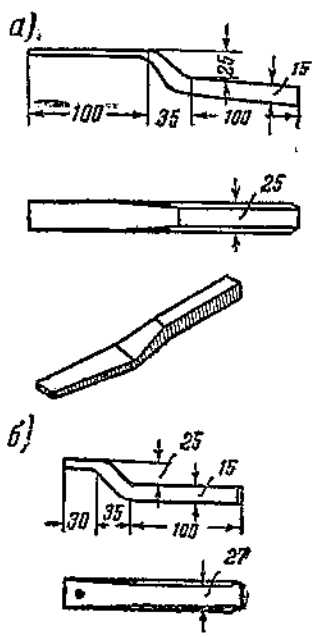


Рис. 76

После конопатки стыка, которая создает его водонепроницаемость, оставшаяся свободной часть раструба заполняется уплотняющим материалом *б* (рис. 75), обеспечивающим прочность стыка. В течение ряда лет (до 1926 г.) в нашей практике для этого применялся исключительно свинец. Однако ввиду его дефицитности свинец стали заменять другими материалами (заменителями), из которых наибольшее распространение в настоящее время получили: цемент, асбоцемент и сернистые сплавы. Ряд других заменителей (губчатое железо, алюминий, асбобитум) еще находится в стадии лабораторных исследований и испытывается на опытных участках. Различные заменители свинца применяются и в заграничной практике, например в США распространены сернистые сплавы с различными добавками (ледит, тидротайт и др.).

Цементный стык. Цемент явился первым материалом, который был применен у нас взамен свинца. При конопатке стыков, заделываемых цементом, в глубь раструба закладывается просмоленный канат (прядь), а сверх него — белый канат. Оставшееся пространство заполняется полусухой смесью цемента с водой ($^1/_{10}$—$^1/_{13}$ ч. от веса цемента); смесь тщательно растирается и перемешивается, после чего закладывается в раструб слоями (4—6 слоев) с тщательной зачеканкой каждого слоя. Зачеканку производят при помощи так называемой «чеканки» (рис. 76, *б*), ударяя по ней молотком. После зачеканки стык обертывают мокрыми тряпками или рогожей до схватывания цемента.

Цементный стык имеет следующие серьезные недостатки: 1) значительную жесткость, не допускающую даже незначительного прогиба линии без расстройства стыка, 2) необходимость 48-часового выдерживания стыка до опрессовки линии (это особенно неудобно при срочных ремонтных работах по ликвидации аварий), 3) плохую сопротивляемость агрессивному воздействию грунтовых вод, особенно содержащих кислоты, 4) невозможность применения при отрицательных температурах, что вызывает необходимость устройства тепляков при производстве работ в зимнее время, 5) плохую сопротивляемость вибрационным колебаниям, 6) недопустимость подчеканки (ремонта) без выключения линии из работы.

Асбоцементный стык. Асбоцемент представляет собой смесь из 30% асбеста и 70% чистого портландского цемента (по весу), с добавлением 10—12% (от веса смеси) воды. Для приготовления асбоцемента употребляется цемент марки 300 или 400, удовлетворяющий требованиям ОСТ НКТП 3191 и 3203 и сухое коротковолокнистое асбестовое волокно марки № 5 или № 6 (ОСТ НКТП 12928). Сухая (до увлажнения) асбоцементная смесь изготовляется вручную в специальных вращающихся барабанах с мешалками и может приготовляться как самими чеканщиками на месте работ, так и централизованным порядком на строительном дворе.

Конопатка раструба производится так же, как и для цементного стыка. Заполнение раструба увлажненной смесью асбоцемента осуществляют слоями (3—4 слоя) с последовательной зачеканкой.

Испытание уложенных трубопроводов давлением можно производить через 48 час. после окончания заделки стыков.

При укладке труб в агрессивных грунтовых водах поверхность асбестового стыка необходимо предохранить изоляционным слоем специальной мастики из нефтяного битума. Асбоцементные стыки обладают значительно большей гибкостью, чем цементные, и лучше сопротивляются вибрационным нагрузкам.

Стыки из сернистых сплавов. Для заделки раструбов применяются также сплавы серы с включением инертных наполнителей (обычно чистый кварцевый песок) и различных улучшающих добавок, придающих сплаву известную пластичность и большую прочность. В состав сплавов входит около 60—65% чистой серы (в порошке), около 30% инертных наполнителей, 3—4% древесного угля в порошке и около 1—2% нафталина или тиокола.

Сернистый сплав доставляется на постройку в виде чушек.

При использовании сернистых сплавов конопатка раструба производится одной лишь белой (несмоленой) прядью или канатом.

Заливка раструба сплавом производится аналогично заливке свинцом (см. ниже); чушки разбиваются на мелкие куски и расплавляются в котелках. Сплав, идущий в дело, имеет температуру 125—130°. К числу положительных свойств стыков из сернистых сплавов можно отнести: а) быстрое твердение сплава, позволяющее наполнять трубы водой тотчас же после заделки стыков; б) возможность производства

работ в зимних условиях; в) антикоррозийную стойкость; г) сопротивляемость вибрационным нагрузкам.

Стыки из сернистых сплавов особенно рекомендуется применять: 1) при наличии химически агрессивных грунтовых вод (или грунтов) и, в частности, в солончаковых грунтах; 2) при аварийных работах; 3) при работах в зимнее время.

Основным недостатком этих стыков является малая их пластичность, характеризуемая известной жесткостью стыка, и его хрупкость. Поэтому стыки из сернистых сплавов неприменимы при укладке труб в слабых грунтах, а также для труб, проводящих горячую воду.

Асбоцементные стыки и стыки из сернистых сплавов, обладающие перечисленными преимуществами по сравнению с цементными стыками, постепенно вытесняют последние из нашей практики.

Для заделки раструбов могут быть также применены и другие заменители свинца, перечисляемые ниже.

Алюминий, получаемый из отходов производства, — преимущественно в виде использованных и бракованных алюминиевых проводов. Алюминиевые стыки обладают большой прочностью, достаточно пластичны, могут применяться в зимнее время, но относительно дороги и требуют дефицитного материала — алюминия.

Губчатое железо — материал, по своим свойствам сходный со свинцом, дающий высокое качество стыка. Однако значительная его стоимость по сравнению с другими видами заполнителей допускает его применение лишь в ответственных случаях.

Свинцовый стык. Свинцовые стыки, как это было отмечено выше, имели исключительное применение, примерно, до 1926 г., вследствие чего с ними приходится встречаться при ремонтных работах на существующих сетях. Кроме того, в особо ответственных водопроводах, а также в специфических местных условиях (например в сейсмических районах) и в настоящее время применяют свинцовые стыки.

В связи с этим ниже дается описание работ по заделке труб свинцом. Перед заливкой свинца нижняя часть раструба законопачивается просмоленным канатом, как это указывалось ранее. Для заливки употребляется чистый (без примеси сурьмы и висмута) обычно чушковый свинец. Плавка свинца производится в котелках на специальных передвижных жаровнях. Расплавленный свинец подается в котелке слесарю (чеканщику), который черпает его оттуда специальным ковшиком с носиком; ковшик должен быть совершенно сухим, так же как и внутренняя поверхность заполняемого раструба, во избежание разбрызгивания свинца. Для обеспечения прочности стыка требуется влить за один прием все количество свинца, необходимое для заполнения раструба. Заливка раструбов производится при горизонтальном положении труб, после их укладки на дно траншеи.

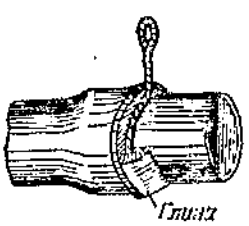


Рис. 77

Для возможности такой заливки трубу около раструба обматывают по окружности веревкой (рис. 77) и обмазывают глиной, после чего веревка выдергивается, оставляя в глиняной обмазке отверстие или «литник» и кольцевой канал по окружности раструба. В «литник» из ковшика заливается расплавленный свинец, который расходится по каналу и заполняет раструб. Кроме «литника» в глиняном валике следует оставлять второе отверстие для выхода воздуха и газов во время заполнения раструба свинцом.

После заливки и затвердения свинца глиняный валик снимается и производится зачеканка раструба. Для этого применяются или ручные чеканки (рис. 76, *б*) или пневматические чеканки (так называемые «зубильные молотки»), приводимые в движение сжатым воздухом,

(рис. 78). Последний подается от передвижного компрессора. Роль чеканки здесь выполняет подвижной молоточек *а*, ударяющий по поверхности свинцовой заливки. Для труб больших диаметров вместо глиняного валика применяют специальные металлические съемные кольца, надеваемые на трубу.

Свинцовый стык обладает большой прочностью при достаточной эластичности, прекрасно сопротивляется воздействию химически агрессивных вод, вибрационным нагрузкам, допускает производство работ в зимнее время, подчеканку при ремонте и немедленный пуск в работу линии после зачеканки стыков.

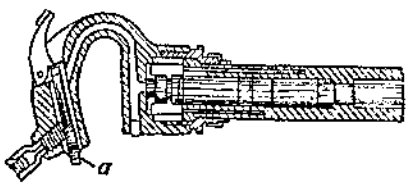


Рис. 78

Кроме заливки свинца в раструб в расплавленном состоянии, применяют для заделки стыков так называемую «свинцовую шерсть», т. е. свинцовые стружки, которые закладываются в раструб в холодном состоянии и подвергаются чеканке.

Весьма хорошими заменителями свинца являются относительно дорогие сплавы — губчатое железо и алюминий. Из более дешевых и не требующих дефицитных материалов заменителей наилучшими качествами обладают асбоцемент и сернистые сплавы.

Стоимость устройства стыков при использовании различных заменителей свинца может быть характеризована следующими цифрами: если принять стоимость свинцового стыка за 100%, то стоимость цементного и асбоцементного стыков, в зависимости от диаметра труб, составит до 45%, алюминиевых — 75%, сернистых сплавов — 55% и губчатого железа — от 80 до 98% (данные опытов института Водгео).

Раструбный стык, вне зависимости от вида заполнителя, позволяет располагать соседние звенья труб под углом 1—2° друг к другу. Это дает возможность в ряде случаев осуществить изменение направления водопроводных линий по кривым без применения каких-либо фасонных частей.

§ 30. Стыковые соединения фланцевых труб

Соединение фланцевых труб производится при помощи болтов (рис. 79). В этом случае между соединяемыми фланцами помещается резиновая прокладка толщиной около 3 *мм* (для придания герметичности стыку), после чего болты равномерно стягиваются путем завинчивания гаек и тем самым плотно сжимают резиновую прокладку и все соединение в целом. Для завинчивания гаек применяются гаечные, разводные или торцевые ключи, тип которых выбирается в зависимости от размеров и расположения труб.

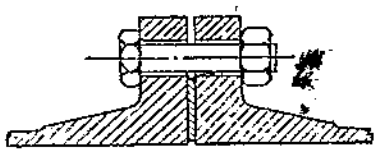


Рис. 79

§ 31. Стальные трубы

Стальные трубы изготовляются заводским способом. В зависимости от метода изготовления различают цельнотянутые (бесшовные) и сварные трубы, имеющие продольный сварной шов.

Для наружных водопроводных сетей используются следующие типы стальных труб:

1) сварные (ОСТ 5100) с внутренним диаметром от 350 до 1 450 *мм*, рассчитанные на рабочее давление до 40 *ат*;

2) цельнотянутые (бесшовные) диаметром от 6 до 400 *мм* (ОСТ 5098):

а) обыкновенные — для давлений до 25 *ат*,

б) качественные — для давлений до 100 *ат*.

Трубы изготовляются отдельными звеньями длиной порядка 9—15 *м*.

Стальные трубы имеют существенные преимущества по сравнению с чугунными, так как могут выдержать большое внутреннее давление (до 100 *ат*); они менее хрупки, хорошо сопротивляются динамическим нагрузкам и для обычных рабочих давлений требуют меньшей толщины стенок (а следовательно, и меньшего расхода металла), чем чугунные трубы. Кроме того, стальные трубы обеспечивают возможность применения скоростных методов монтажа. Применение стальных труб на ряде наших крупных строек (например гурьевский водопровод) позволило закончить строительство в рекордно короткие сроки.

Однако стальные трубы обладают двумя серьезными недостатками, ограничивающими их применение. Во-первых, они в большей степени, чем чугунные трубы, подвержены коррозии и для укладки в земле требуют тщательной изоляции их наружной поверхности. Так как при монтаже сети и укладке труб не исключено повреждение изолирующего слоя, опасность коррозии стальных труб в земле всегда имеет место. Сильное же корродирование стальных труб намного уменьшает срок их службы по сравнению с чугунными.

Вторым недостатком стальных труб является жесткость системы труб, соединенных в линию, так как наиболее употребительные типы их стыков (сварные) являются совершенно жесткими. Это обстоятельство может повлечь разрушение стыков при наличии просадок грунта, а также при изменении длины труб при температурных колебаниях.

В последние годы стальные трубы в водопроводной практике находят все же большое применение и, главным образом, при устройстве высоконапорных водоводов, подающих воду на значительные расстояния.

В разводящих наружных сетях стальные трубы в нашей практике большого распространения не получили.

Тем не менее под проездами, железнодорожными путями, при переходе рек, при мелком заложении или поверхностной укладке, а также во всех местах, где не исключена вероятность динамических нагрузок, необходима укладка стальных труб вместо чугунных.

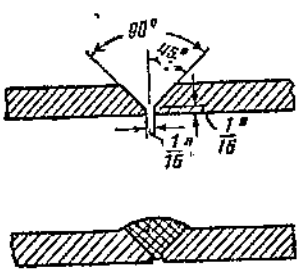


Рис. 80

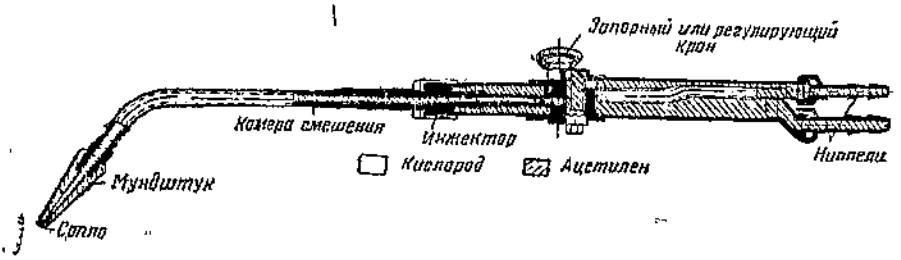
Стальные трубы указанных типов изготовляются с гладкими концами. Для соединения отдельных звеньев труб применяют следующие способы: а) сварку стыков труб — газовую (автогенную) или электрическую; б) фланцевые соединения; в) раструбные соединения; г) соединение при помощи муфт на резьбе.

Сварные стыки имеют в настоящее время наиболее широкое распространение. Перед сваркой концы трубы должны быть очищены от ржавчины и с них сняты фаски, как показано на рис. 80.

Для газовой сварки применяют смесь кислорода и ацетилена. Пламя горения этой смеси (с температурой около 3500°) при помощи специальной горелки (рис. 81) направляется на свариваемые концы труб (соединенные с прозором в 1,5—3,0 *мм*), тем самым создавая сварной шов. Для заполнения зазора между кромками употребляется так называемый «присадочный материал» — стальная проволока или стержень, подводимый при сварке шва под пламя горелки.

Электросварка осуществляется при помощи вольтовой дуги, для образования которой требуется ток силой в 150—180 *а*.

Свариваемые трубы в месте сварки и электрод, которым служит присадочный металл, присоединяются к двум полюсам короткозамкнутой электрической цепи. Прикасаясь электродом к стыку труб и быстро отводя его на расстояние 2—3 *мм* от трубы, получают вольтову дугу с температурой до 4000°. Конец электрода начинает плавиться и в виде мельчайших брызг расплавленного металла переносится на стык труб. В месте соприкосновения с вольтовой дугой поверхность трубы в стыке начинает также плавиться, образуя кратер, заполняемый расплавленным металлом электрода. Постепенно передвигая электрод по



периметру стыка, получаем наплавленный шов. Передвижение электрода должно быть медленным, так как при быстром движении труба в месте стыка не успеет расплавиться, наплавление присадочного металла произойдет на холодный металл и сварки не получится.

Электросварку производят двумя способами: с поворотом и без поворотов. При первом способе сварки каждая четверть окружности периметра шва сваривается отдельно. Начинают со сварки верхней части шва, а затем труба поворачивается на 180° и сваривается нижняя часть шва. Самый шов делается из нескольких слоев. Наложение второго слоя производится в порядке, обратном первому.

Второй способ сварки («потолочный») отличается от первого тем, что трубы не поворачиваются и движение электрода начинается от нижнего конца вертикального диаметра и обходит трубу по окружности. Второй слой накладывается в том же порядке. При этом способе для удобства сварки нижней части под стыком устраивается приямок размером 1 × 1 *м* и глубиной 0,6 *м*. Этот способ имеет большие неудобства для сварщика и применяется в трудно доступных местах при невозможности по местным условиям осуществить поворот трубы.

Чтобы избежать образования в сварных швах внутренних напряжений, опасных для прочности стыка, не следует производить сварку при отрицательных температурах. Для производства сварных работ в зимнее время устраиваются специальные тепляки или стыки труб предварительно нагреваются. Не следует также производить сварку труб, сильно нагретых солнцем; их необходимо предварительно охладить, обсыпав слем земли.

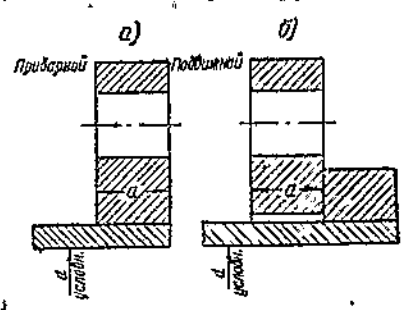


Рис. 82

Сварные стыки имеют большие достоинства, они прочны и герметичны.

Фланцевые соединения устраиваются при помощи стальных фланцев, либо привариваемых к трубе (рис. 82, *а*), либо надеваемых на трубу (так называемых надвижных фланцев) с последующей развальцовкой концов труб или наваркой на них опорных колец (рис. 82, *б*).

Для соединения отдельных звеньев стальных труб фланцы стягиваются при помощи болтов так же, как у чугунных фланцевых труб.

Раструбные соединения могут быть осуществлены:

а) приваркой к трубе железных раструбов (рис. 83);

б) устройством раструба на одном из концов соединяемых труб путем их развальцовки; способ этот имеет применение в заграничной практике;

в) путем применения чугунных двухраструбных муфт, в которые вставляются концы соединяемых стальных труб, с последующей зачеканкой раструбов одним из приведенных выше способов (для труб до 600 *мм*).

Для монтажа узлов сети, выполняемой из стальных труб диаметром не более 600 *мм*, применяются обычные чугунные фасонные части. При бо́льших диаметрах применяют специальные, изготовленные на месте работ стальные фасонные части, привариваемые непосредственно к трубам.

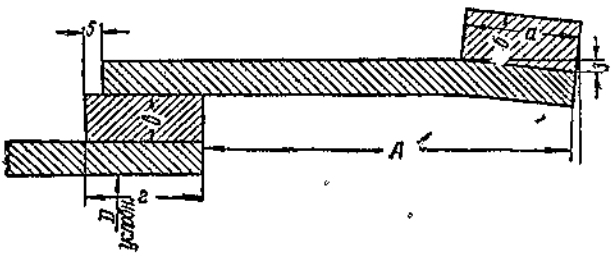


Рис. 83

Наряду с этим в практике строительства применяют также сварные фасонные части (из отрезков труб или листового железа) и при меньших диаметрах труб.

Стальные трубы выпускаются без покрытия их внешней поверхности каким-либо составом, предохраняющим металл от коррозии. Поэтому изоляцию труб, укладываемых в земле, необходимо производить на месте работ.

Для изоляции труб применяются:

1) Покрытие кузбасслаком (каменноугольной смолой, растворяемой в сольвентнафте). Лак наносится на поверхность трубы (предварительно очищенную от ржавчины) кистью в один или два слоя.

2) Асфальтировка — путем опускания трубы, нагретой до 100—200°, в ванну с асфальтирующей массой (каменноугольная смола с добавкой 10—15% асфальтового лака и гашеной извести). Температура массы должна быть не меньше чем на 10° выше температуры нагретой трубы. Асфальтированная труба покрывается слоем нагретого до 180° битума толщиной около 1,5 *мм*.

3) Покрытие труб в холодном состоянии грунтовкой из стеаринового гудрона или нефтяного асфальта с последующим покрытием одним-двумя слоями битума как после асфальтировки.

4) Обмотка труб поверх изоляции джутовой или асбестовой тканью, пропитанной битумом, с последующим нанесением поверх ткани слоя битума.

Из описанных способов первый является наиболее дешевым, однако дает наименее прочную изоляцию. Последний же способ весьма дорогой и применяется лишь при укладке труб в сильно агрессивных грунтах.

§ 32. Асбестоцементные трубы

Асбестоцементные трубы изготовляются заводским способом из массы, представляющей смесь 75—80% портландского цемента (по весу) и 20—25% асбестового волокна. Трубы имеют вид гладких цилиндров длиной 3—4 *м*. Во многих случаях асбестоцементные трубы могут с успехом заменять металлические трубы.

Однако ряд присущих асбестоцементным трубам достоинств делает вполне целесообразным их применение даже при наличии металлических труб. К числу их достоинств относится: а) малая теплопровод-

ность, допускающая уменьшение глубины укладки труб на 20% по сравнению с металлическими; б) стойкость в отношении коррозии; в) диэлектричность, выгодно отличающая эти трубы от металлических, подверженных разрушающему действию блуждающих токов от городского электротранспорта; г) малый удельный вес (около 2,1), облегчающий транспортирование и укладку труб; д) сохранение, в условиях эксплоатации, гладкой и незагрязняемой внутренней поверхности, что увеличивает их пропускную способность по сравнению с чугунными трубами.

Недостатками асбестоцементных труб являются: а) плохая сопротивляемость ударам и динамическим нагрузкам, б) сложность и относительно большая стоимость стыковых соединений.

В СССР асбестоцементные трубы вырабатываются согласно ГОСТ 539-41. Трубы в зависимости от допускаемого внутреннего рабочего давления изготовляются трех марок:

В10 — до 10 *ат*
В8 — » 8 »
В5 — » 5 »

Основные размеры труб (в *мм*) приведены в табл. 17.

Таблица 17

Внутренний диаметр d *мм*	Длина		Марка В10			Марка В8			Марка В5		
	трубы L *м*	обточенных концов l *мм*	наружный диаметр обточенных концов D *мм*	толщина стенки обточенных концов δ *мм*	вес *кг*	наружный диаметр обточенных концов D *мм*	толщина стенки обточенных концов δ *мм*	вес *кг*	наружный диаметр обточенных концов D *мм*	толщина стенки обточенных концов δ *мм*	вес *кг*
50	3,0	320	68	9	11,25	68	9	11,75	68	9	11,52
75	3,0	320	93	9	16,20	93	9	16,2	93	9	16,2
100	3,0	320	122	11	24,0	122	11	24,0	120	10	21,0
125	3,0	320	149	12	34,8	149	12	34,8	145	10	28,5
	4,0				46,4			46,4			38,0
150	3,0	320	178	14	49,5	178	14	49,5	172	11	37,5
	4,0				66,0			66			50,0
200	4,0	320	232	16	96,8	232	16	96,8	226	13	78
250	4,0	320	288	19	144	288	19	144	280	15	112
300	4,0	380	346	23	208,8	346	23	208,8	334	17	152
350	4,0	380	404	27	285,6	404	27	285,6	388	19	196,8
400	4,0	380	460	30	362,4	460	30	362,4	442	21	248
500	4,0	380	—	—	—	576	38	573,6	550	25	368,8
600	4,0	425	—	—	—	690	45	812,0	660	30	531,2

В заграничной практике асбестоцементные трубы изготовляются диаметром от 50 до 1 000 *мм*, на рабочее давление от 2,5 до 15 *ат*.

Соединение труб производится при помощи муфт системы «Симплекс» (рис. 84, *а*) и «Жибо» (рис. 84, *б*).

Муфта «Симплекс» изготовляется из асбестоцемента и имеет на внутренней поверхности два выступа, за которыми помещаются резиновые кольца, зажимаемые между трубой и муфтой и создающие герметичность стыка. Устанавливается муфта «Симплекс» при помощи специального домкрата (рис. 85).

Муфта «Жибо» (рис. 84, *б*) состоит из фасонного чугунного патрубка *1*, зажимаемого между двумя фланцами *2*, стягиваемыми при помощи болтов.

При этом резиновые кольца *3* плотно прижимаются к внешней поверхности трубы, давая герметическое и достаточно гибкое соеди-

нение. Стыку с муфтой «Жибо», как и всякому другому, имеющему болтовые соединения, присущ тот недостаток, что при укладке в земле болты быстро ржавеют и стык ослабляется.

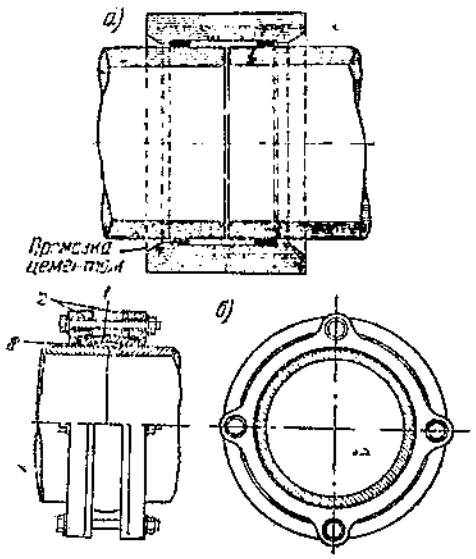


Рис. 84

Кроме названных специальных типов муфт, для соединения асбестоцементных труб используются также обыкновенные чугунные раструбные муфты или же стальные муфты.

Узлы на сети из асбестоцементных труб обычно монтируются при помощи обычных чугунных фасонных частей.

Для соединения асбестоцементных труб с чугунными фасонными частями применяются специальные чугунные патрубки. Эти патрубки с одной стороны имеют раструбы, а с другой стороны — фланцы или гладкие концы для соединения с различными чугунными фасонными частями.

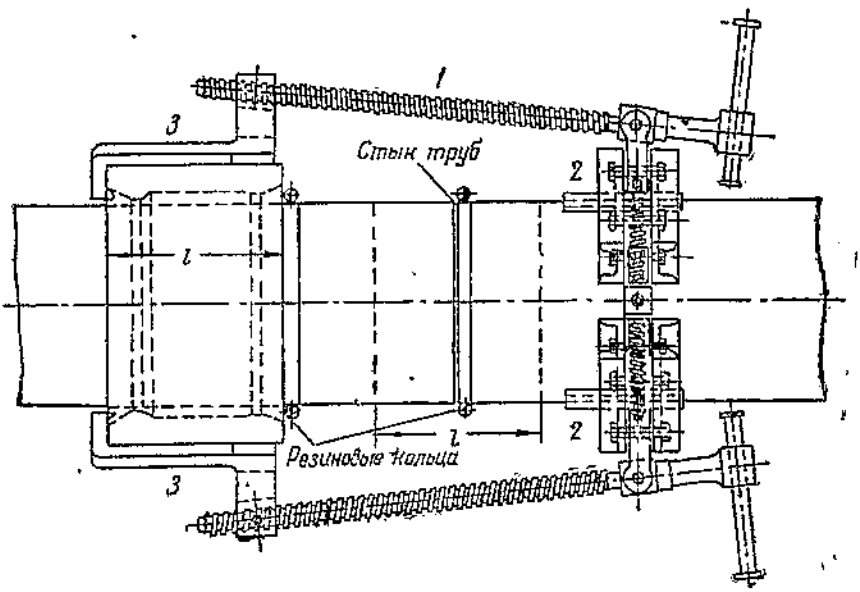


Рис. 85

Домовые ответвления от асбестоцементных труб могут устраиваться при помощи седелок.

§ 33. Деревянные трубы

В водопроводной практике имеют применение деревянные трубы двух основных типов: сверленые и клепочные.

Деревянные сверленые трубы изготовляются из бревен путем высверливания в них продольных цилиндрических каналов.

Деревянные сверленые трубы явились первым типом труб, примененных при устройстве централизованных систем водопровода. Имеются сведения о деревянном водопроводе длиной 17 *км*, существовавшем в древней Греции. Более чем за 150 лет до нашей эры сверленые трубы были применены при устройстве деревянного насоса.

В XI в. сверленые трубы уже применялись при устройстве русских водопроводов. Можно указать на обнаруженный раскопками водопровод в Новгороде под площадью, где собиралось вече; трубы имели внутренний диаметр 140 *мм*.

В 1807 г. был построен из сверленых труб пулковский водопровод длиной около 7,5 *км*, работавший до последнего времени. Водопровод г. Кинешмы просуществовал 60 лет, не потребовав за это время смены деревянных труб, и т. д.

В XVI—XVII вв. сверленые трубы уже имели распространение в Англии и Германии. С начала XVII в. (1613 г.) эти трубы начали широко применяться при сооружении лондонского водопровода; прослужив здесь более двухсот лет, они оказались вполне исправными и были заменены металлическими лишь из-за необходимости замены их трубами бо́льших диаметров.

Большое распространение получили сверленые трубы в США, где сети первых водопроводов были уложены из сверленых труб—водопроводы Бостона (1652 г.) и Нью-Йорка (1799 г.).

Деревянные сверленые трубы могут изготовляться лишь небольшого диаметра (от 50 до 100—125 *мм*) и допускают (без дополнительного армирования) незначительные внутренние давления — не более 2—2½ *ат*.

К достоинствам деревянных сверленых труб следует отнести возможность использования дерева местных пород, сведение к минимуму применения дефицитных материалов и возможность относительно быстрого изготовления труб на месте строительства простейшими средствами.

В силу этого наибольшее применение деревянные сверленые трубы получили в сельскохозяйственном водоснабжении (для совхозов и колхозов), при устройстве водопроводов небольших промышленных предприятий, рабочих и временных поселков и т. д.

Для изготовления сверленых труб могут быть использованы: сосна, лиственница, кедр, пихта, ольха и ель. Лес должен быть свежевырубленный или специально замоченный до влажности не менее 25—30%.

Для изготовления труб применяются бревна длиной 4—6 *м*.

В зависимости от требуемого внутреннего диаметра трубы назначается толщина ее стенок и принимается диаметр бревна.

Диаметры бревен (в верхнем отрубе) и толщины стенок труб, употребляемых без дополнительного армирования, приведены в табл. 18.

Таблица 18

Внутренний диаметр трубы *мм*	Диаметр бревна в верхнем отрубе *мм*	Толщина стенки *мм*
50	170—180	60—65
75	195—210	60—67,5
100	250—260	75—80
125	285—290	80—82,5

Сверление труб производится вручную при помощи специального стального сверла, называемого «лопарем» (рис. 86).

Для сверления бревно укладывают на пару козел (рис. 87, *а*) и привязывают к ним канатом или цепью.

Сверление ведется обычно с двух сторон. При длине бревна менее 4 *м* сверление можно вести и с одного конца. Чтобы придать сверлу надлежащее направление, его опирают на так называемый «гусек» — доску со ступенчатыми вырезами, установленную на особых козлах в расстоянии 1½—3 *м* от торца бревна (рис. 87, *б*). При работе

необходимо следить, чтобы сверло шло строго по оси бревна, о чем можно судить по цвету выходящей стружки.

Для соединения звеньев труб применяются соединение втулкой и шипом (рис. 88, *а*), либо соединение при помощи отрезков металлических труб (рис. 88, *б*).

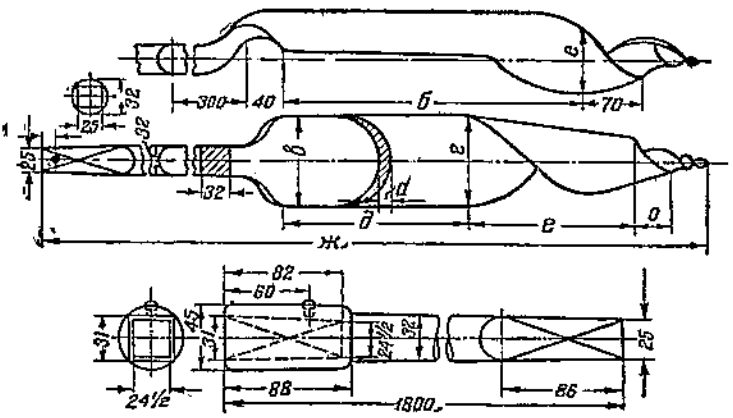


Рис. 86

Узлы на сети из сверленых труб монтируются из стальных фасонных частей, так называемых фитингов (угольники, тройники и др.).

Устройство домовых ответвлений от сверленого трубопровода можно осуществить ввинчиванием стальной газовой трубы (с резьбой на конце) в отверстие, просверленное в стенке деревянной трубы (рис. 89).

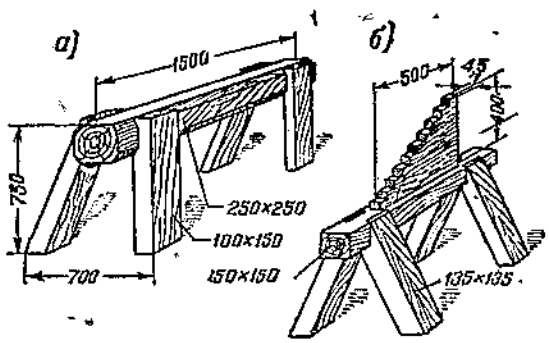


Рис. 87

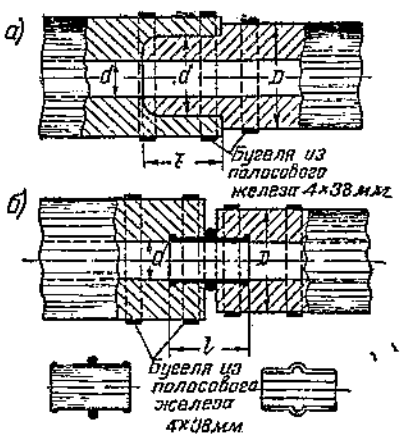


Рис. 88

В сети из деревянных сверленых труб должно поддерживаться внутреннее давление не менее 0,6—0,7 *ат*, чтобы обеспечить достаточное насыщение водой древесины и предохранить ее от загнивания.

Деревянные клепочные трубы изготовляются из отдельных дощечек (клепок), заготовленных заводским способом, образующих стенки трубы и стягиваемых проволочной обмоткой или хомутами.

Клепочные трубы бывают двух типов: непрерывные и звеновые.

Звеновые трубы целиком выполняются на заводе.

Непрерывные трубы собираются на месте работ из отдельных клепок. Клепки изготовляются из сосны или лиственницы, имеют длину 3—6 *м*, толщину 40—120 *мм* и ширину 40—180 *мм* (рис. 90, *а*).

Для придания водонепроницаемости трубе клепки имеют продольный гребень и паз треугольной, полукруглой или трапецоидальной формы. При монтаже труб клепки сдвигаются в продольном направлении одна относительно другой (рис. 91), образуя непрерывную трубу. Тор-

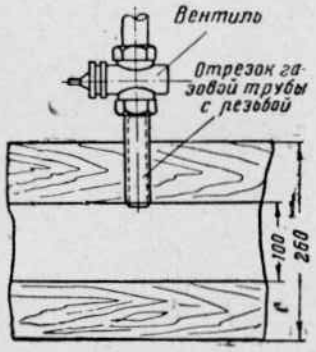


Рис. 89

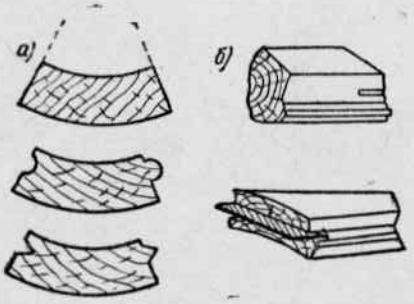


Рис. 90

цевые соединения клепок осуществляются при помощи «язычков» из твердых пород дерева (дуб, бук, самшит) или металлических (из оцинкованного железа) (рис. 90, *б*).

Клепки стягиваются хомутами из круглого железа диаметром 10—25 *мм*, устанавливаемыми через 150—300 *мм* в зависимости от внутреннего давления и диаметра трубы. Концы бандажей закрепля-

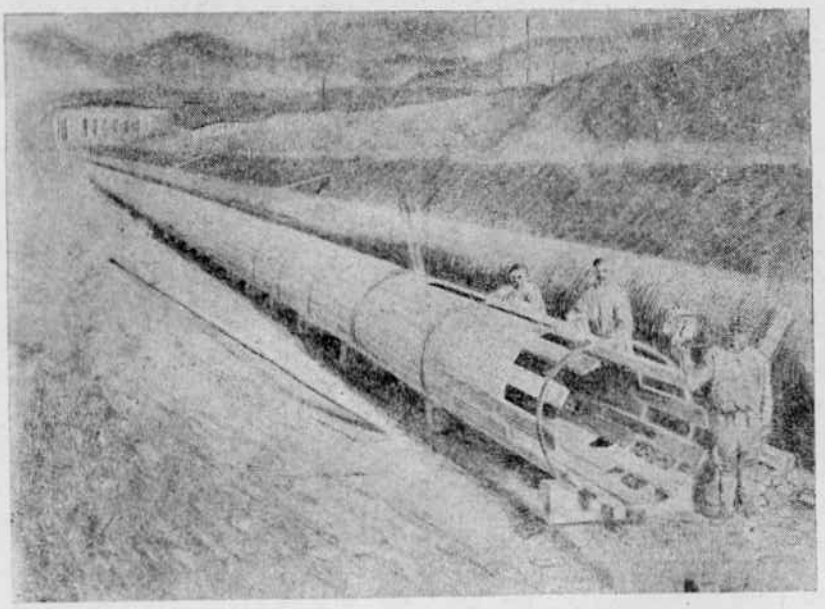


Рис. 91

ются при помощи башмаков (рис. 92), железных штампованных или из ковкого чугуна. Сборка непрерывных труб производится с помощью временных кружал; трубы больших диаметров, во избежание сплющивания, укладываются на специальных седлах (рис. 93) деревянных, бетонных или железобетонных. Непрерывные деревянные трубы применяются внутренним диаметром приблизительно от 400 до 3 500 *мм*.

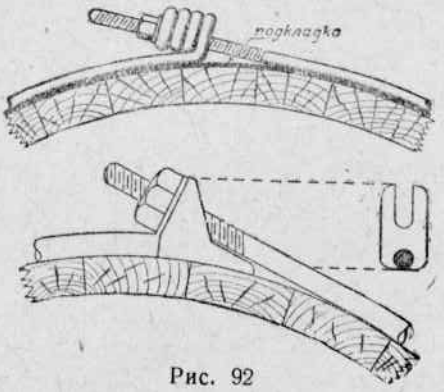


Рис. 92

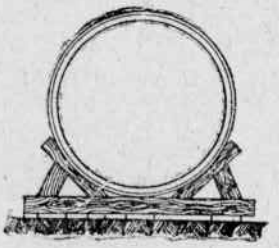


Рис. 93

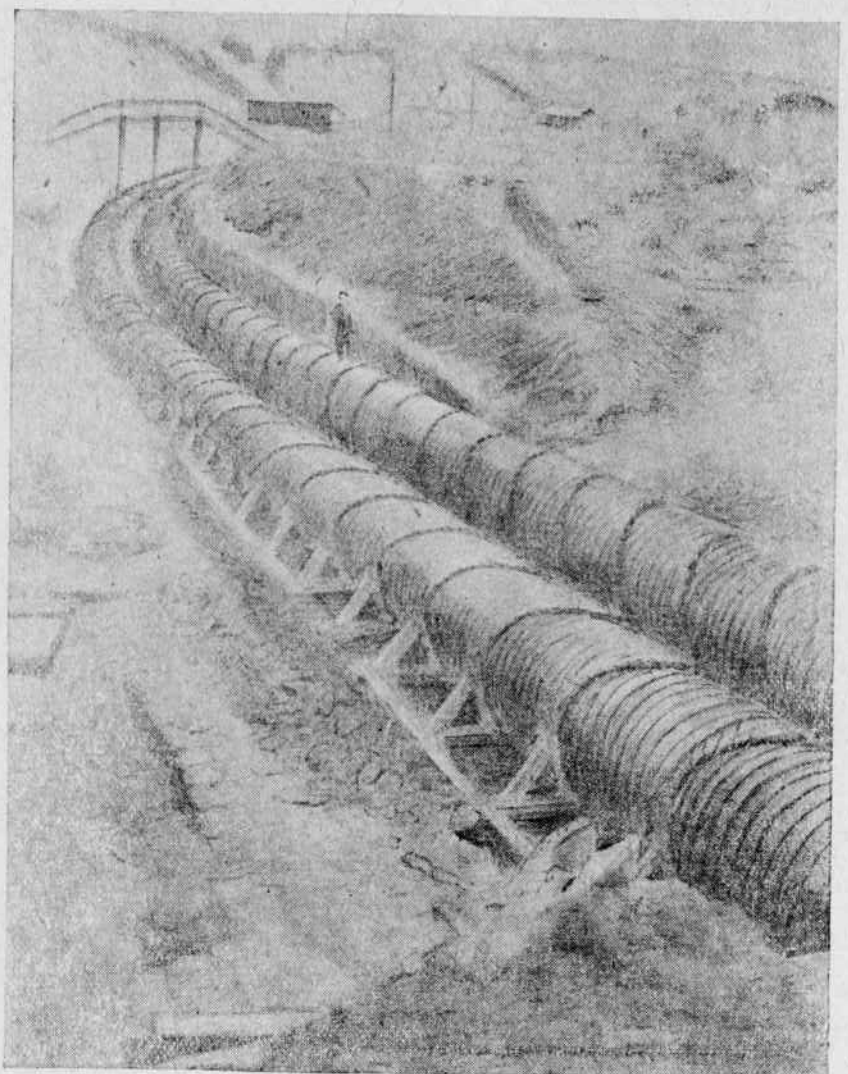


Рис. 94

Внутреннее рабочее давление в непрерывных клепочных трубах допускается не выше 5—6 *ат*. При больших давлениях сильно возрастает вес металла (хомутов, башмаков) и применение деревянных труб становится невыгодным.

Плавные повороты водопроводных линий непрерывных клепочных труб могут быть достигнуты соответствующим изгибом клепок (рис. 94).

Благодаря большой толщине стенок и малой теплопроводности дерева клепочные трубы при условии постоянного тока воды могут прокладываться на поверхности земли или с малым заглублением.

Непрерывные трубы находят наибольшее применение при устройстве водоводов большого диаметра и значительного протяжения. Для разводящих сетей применение этих труб нецелесообразно ввиду трудности устройства узлов и ответвлений.

Звеновые трубы, как это уже указывалось, в отличие от непрерывных, изготовляются заводским способом в виде отдельных звеньев внутренним диаметром от 100 до 300 *мм* и длиной 6 *м*.

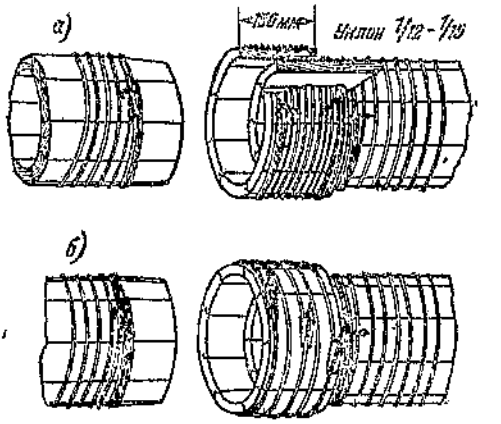


Рис. 95

Клепки, составляющие трубу, стягиваются спиральной обмоткой из стальной оцинкованной проволоки.

Наружная поверхность труб асфальтируется. Стыковые соединения труб представлены на рис. 95: *а* — соединение втулкой, применяемое при малых давлениях (до 2 *ат*), и *б* — посредством муфты из деревянных клепок, стягиваемой бандажом того же типа, что и для непрерывных труб (при давлениях до 3 *ат*).

Область применения звеновых труб ограничивается их относительно малыми диаметрами и незначительными внутренними давлениями. Эти трубы имеют ряд существенных недостатков, ограничивающих их применение, к числу которых можно отнести: относительно быстрое корродирование проволочной обмотки, большую утечку воды, большой процент брака при транспортировке.

§ 34. Железобетонные трубы

Железобетонные водопроводные трубы изготовляются как заводским централизованным способом, так и непосредственно на крупных строительных площадках.

Трубы выделываются в виде гладких цилиндров или раструбного типа различной длины (от 1,5 до 3 *м* и более). Внутренний диаметр труб колеблется в широких пределах — от 100—150 *мм* до 1,5—2,0 *м*; внутреннее рабочее давление обычно не превышает 5—6 *ат*. Трубы изготовляются в металлических формах, внутренняя поверхность которых покрывается слоем битума во избежание схватывания формы с бетоном.

Поперечная арматура устраивается из стальных прутков в виде отдельных колец или спирали. Диаметр прутков и расстояние между ними выбираются в зависимости от расчетного внутреннего давления на основании детального расчета. Продольная арматура делается из стальных стержней, параллельных оси трубы или идущих к ней под углом (раскосные стержни). Арматура заводится в форму до укладки бетона и центрируется при помощи специальных распоров.

Форма для раструбной трубы с введенной в нее арматурой показана в раскрытом виде на рис. 96.

Бетон подается внутрь формы вручную или при помощи различных вспомогательных приспособлений, желобов, ложек и т. п. Для увеличения прочности стенок труб применяют вибрационный или центробежный способ изготовления труб.

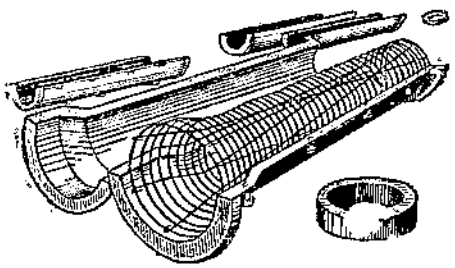


Рис. 96

При первом способе форма при заполнении ее бетоном подвергается вибрационным сотрясениям на специальных станках — вибраторах, в результате чего бетонная масса уплотняется. При втором, наиболее распространенном и совершенном способе уплотнение бетона внутри формы производится путем вращения формы вокруг ее продольной оси. Центробежная сила, прижимая бетон к стенкам формы, вызывает его уплотнение.

По окончании загрузки всего количества бетона форма вращается в течение 8—10 мин. После этого труба вместе с формой поступает в камеру пропаривания с температурой 60—80°, где находится в течение 8—24 час. Далее трубы вынимаются из формы и в течение 28—30 суток подвергаются увлажнению (поливке), пока бетон не достигнет надлежащей прочности.

В последние годы для повышения степени использования арматуры труб стали применять железобетонные трубы с предварительно напряженной арматурой. Последняя предварительно нагревается; при последующем остывании и сокращении длины арматура получает напряжение растяжения, вызывая одновременно напряжение сжатия в бетоне.

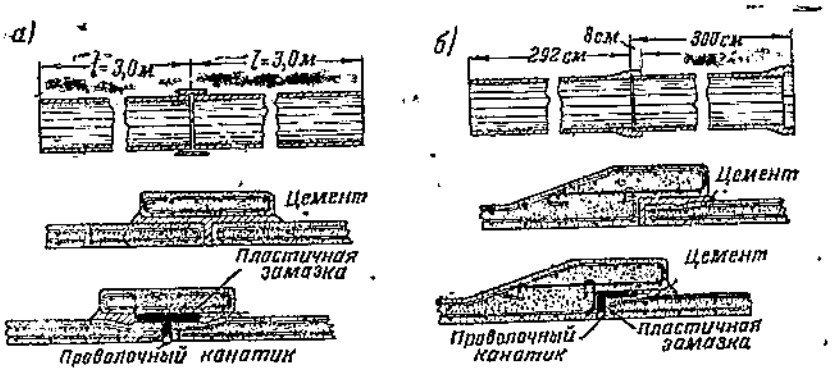


Рис. 97

Типы стыковых соединений железобетонных труб показаны на рис. 97, *а* (для трубы с гладкими концами) и *б* (для раструбной трубы); последний стык осуществляется при помощи железобетонных муфт, изготовляемых заводским способом.

§ 35. Сравнение труб из различных материалов

Сравнивая трубы из различных материалов, можно выбрать тип труб, наиболее подходящий для данного объекта.

В целях облегчения анализа основные характеристики труб сведены в табл. 19.

Таблица 19

№ п/п	Показатели для сравнения	Чугунные	Стальные	Асбестоцементные	Железобетонные	Деревянные клепочные
1	Предельно допустимая величина внутреннего рабочего давления в *ат*	8—10	До 100 (в зависимости от типа труб)	8—10	4—5	3—5
2	Сопротивляемость внешним статическим нагрузкам	Хорошая	Очень хорошая	Посредственная	Хорошая	Плохая
3	Сопротивляемость внешним динамическим нагрузкам и вибрации	Плохая	Хорошая	Плохая	Посредственная	Посредственная
4	Сопротивляемость коррозии	Хорошая	Плохая	Хорошая	Посредственная	Плохая
5	Срок службы	До 100 лет	30—50 лет	50—60 лет (вероятный)	50—60 лет (вероятный)	25—30 лет
6	Расход металла (по отношению к стальным трубам, принятым за единицу)	1,5—2,0	1,0	0	0,4—0,5	Малые диаметры 0,1—0,2, средние диаметры 0,4—0,7, большие диаметры 0,5—0,7
7	Герметичность сети	Хорошая	Очень хорошая (при сварке)	Хорошая	Хорошая	Плохая
8	Величина гидравлических потерь (по отношению к потерям в чугунных трубах, принятым за единицу)	1	1,0	0,7	1,0	0,9
9	Диапазон диаметров *мм*	100—1 200	6—1 450	50—600	150—2 000	400—3 500
10	Монтаж узлов	Простой	Сложный	Затрудненный	Затрудненный	Весьма сложный
11	Сопротивляемость гидравлическим ударам	Средняя	Хорошая	Посредственная	Посредственная	Плохая

Наибольшим числом положительных данных обладают чугунные и стальные трубы. Чугунные трубы хотя и хуже стальных сопротивляются динамическим нагрузкам и требуют большего расхода металла, зато эти трубы обладают почти вдвое большим сроком службы и позволяют легко и просто производить монтаж узлов благодаря наличию широкого ассортимента фасонных частей, что очень существенно для разводящих сетей.

Применение железобетонных труб лимитируется относительно небольшими величинами допустимых внутренних давлений (до 4—5 *ат*) и отсутствием массового их изготовления.

Устройство стыковых соединений и монтаж узлов при железобетонных и асбестоцементных трубах значительно сложнее, чем при металлических. Применение деревянных клепочных труб для разводящей сети нельзя рекомендовать вследствие их негерметичности и тем самым возможности загрязнения в пределах города или промышленного предприятия, а также ввиду сложности устройства узлов.

Усовершенствование методов сварки и защиты от коррозии все более увеличивает применение стальных труб, которые по своим основным показателям могут с успехом применяться наряду с чугунными трубами.

В сейсмических районах, при переходах под путями и проездами, при переходах рек и оврагов следует укладывать только стальные трубы.

Применение асбестоцементных и железобетонных труб для сетей целесообразно в случаях, когда это оправдывается экономическими соображениями (легкостью доставки или изготовления на месте) и когда местные условия укладки и службы позволяют их применение (см. табл. 19).

Деревянные сверленые трубы следует применять лишь для водопроводов сельских местностей или временных поселков — при малых диаметрах (50—125 *мм*) и малых давлениях (до 2—2½ *ат*).

Более сложным бывает решение вопроса о выборе типа труб для устройства водоводов. При значительных диаметрах водоводов (более 1,0 *м*) для их устройства могут быть применены стальные, железобетонные и деревянные непрерывные клепочные трубы.

При значительных внутренних давлениях применяются стальные трубы. При давлениях до 4—5 *ат* — железобетонные или деревянные. При выборе деревянных труб следует учитывать наличие большой утечки воды, что особенно нежелательно при малой мощности источника и необходимости экономить воду.

Выбор между железобетонными и деревянными трубами производится на основании экономических сравнений обоих типов труб с учетом местных условий и возможности их изготовления.

При диаметрах водоводов, позволяющих применение чугунных труб, выбор между ними и стальными трубами в ряде случаев делается в пользу последних как по экономическим соображениям (экономия металла и меньшая стоимость стыков), так и ввиду лучшей сопротивляемости гидравлическим ударам.

§ 36. Глубина заложения труб

Наружная сеть водопроводных труб должна укладываться в земле на глубине, обеспечивающей незамерзание в них воды в зимнее время. Глубина укладки зависит от глубины промерзания почвы и, следовательно, различна для разных районов. При этом трубы следует укладывать несколько ниже глубины промерзания.

Для северных районов Союза глубину заложения металлических труб принимают 3,5—3,8 *м*; для средней полосы — 2,5—3 *м*, и для

южных районов — 1,25—1,50 *м*. Глубина заложения зависит от наличия и толщины снегового покрова, а также от гидрогеологических условий в зоне укладки.

Минимальная глубина укладки определяется из условий предохранения труб от внешних нагрузок (в частности, от транспорта) и от нагревания в летнее время.

Неметаллические трубы (асбестоцементные, бетонные и деревянные) благодаря большей толщине и меньшей теплопроводности материала стенок допускают меньшую глубину укладки по сравнению с металлическими.

Однако деревянные клепочные трубы больших диаметров (более 600 *мм*) весьма плохо сопротивляются внешним нагрузкам. Поэтому их следует укладывать на малой глубине, чтобы слой засыпки над трубой не превышал 0,5—0,7 *м*. Укладка таких труб непосредственно под проездами не допускается. В местах пересечения с проездами над деревянными трубами должны устраиваться специальные мостики.

Водоводы из деревянных клепочных труб с постоянным движением в них воды часто укладываются на поверхности земли без засыпки земли.

Глубина заложения труб, принятая для данной местности, сохраняется приблизительно одинаковой для всей сети и водопроводные линии в основном следуют рельефу местности (рис. 98). Однако при

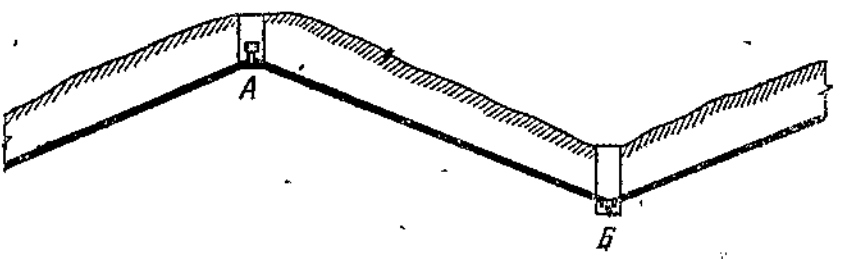


Рис. 98

трассировке линий труб продольный профиль должен предусматривать возможность опорожнения отдельных участков сети и выпуска из него воздуха. Для этого сеть разбивают на участки с различными по знаку уклонами, учитывая рельеф местности, но не следуя за всеми его мелкими видоизменениями. В пониженных точках устраиваются выпуски *Б* (см. табл. 15) для опорожнения сети, а в повышенных точках на переломе линии в профиле устанавливаются воздушные вантузы *А*, обеспечивающие автоматический выпуск из сети воздуха.

§ 37. Укладка водопроводных труб

Перед началом работ по укладке труб должна быть произведена разбивка трассы водоводов и линии сети в натуре, при этом трасса и отметки заложения водопроводных труб должны быть увязаны с трубами и каналами иного назначения, существующими или проектируемыми на той же территории.

На рис. 99 дано примерное расположение водопроводных и других труб на поперечном профиле городской улицы обычной ширины (односторонняя укладка водопровода) и на рис. 100 — городской магистрали большой ширины (двухсторонняя укладка водопровода); на профилях показаны также остальные трубы различного назначения.

При значительном диаметре водопроводной линии (от 500 *мм* и выше) домовые ответвления присоединяются не непосредственно к этой линии, а к идущей параллельно ей «сопровождающей» трубе, которая соединяется с магистралью в узловых точках сети.

В крупных городах и на промышленных предприятиях с большим числом трубопроводов различного назначения для их укладки устраивают специальные проходные туннели, облегчающие осмотр и ремонт труб и позволяющие производить ремонтные работы изнутри без раскопки траншей. Тип такого туннеля представлен на рис. 101.

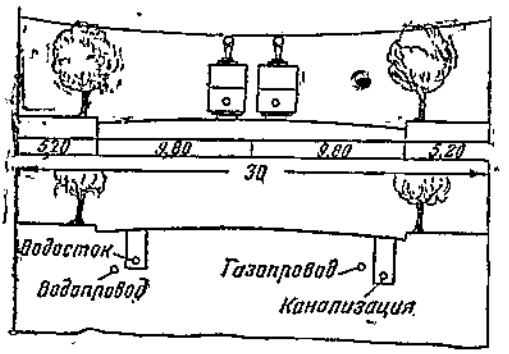


Рис. 99

Трассы сетей должны быть увязаны с требованиями МПВО. Ширина траншеи принимается на 70 *см* более наружного диаметра укладываемой трубы; глубина — в соответствии с принятой глубиной заложения труб так, чтобы труба укладывалась непосредственно на плотный грунт дна траншеи.

При значительном протяжении траншеи для ее рытья применяются специальные типы экскаваторов — канавокопатели. Один из наиболее распространенных типов канавокопателей показан на рис. 102.

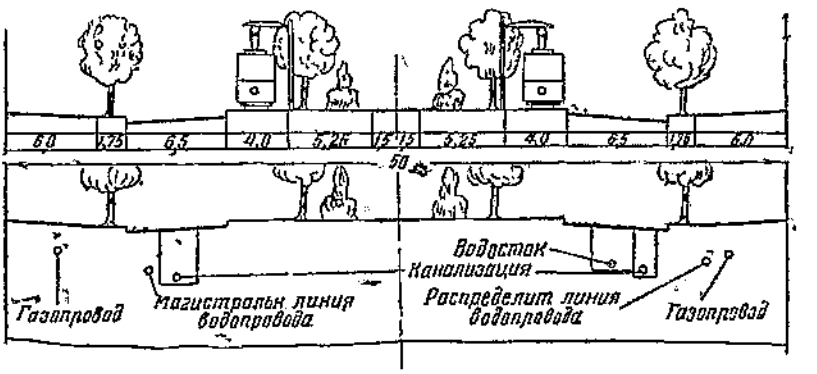


Рис. 100

Механизация работ по рытью траншей дает значительную экономию рабочей силы при сооружении водопровода и сокращает сроки строительства по сравнению с работой вручную.

Ручная копка траншей допустима лишь в местах, где применение механизации затруднительно или невыгодно, например на отдельных коротких участках, на узких проездах, при пересечении уже уложенных линий, кабелей и т. п.

Стенки траншей, как правило, устраиваются отвесными на всю глубину. Во избежание обрушения стенок устраивают их крепление при помощи досок (рис. 103) или щитов, поддерживаемых специальными распорами из круглого леса.

В зависимости от качества грунта устраивается сплошное крепление (при грунтах I и II категорий) или вразбежку — через одну доску (в грунтах III и IV категорий).

При работе в грунтах, насыщенных водой, копка траншей сопровождается водоотливом, осуществляемым при помощи простейших ручных насосов или эжекторов.

При сильно водянистых грунтах приходится применять забивку шпунта вдоль стенок траншеи.

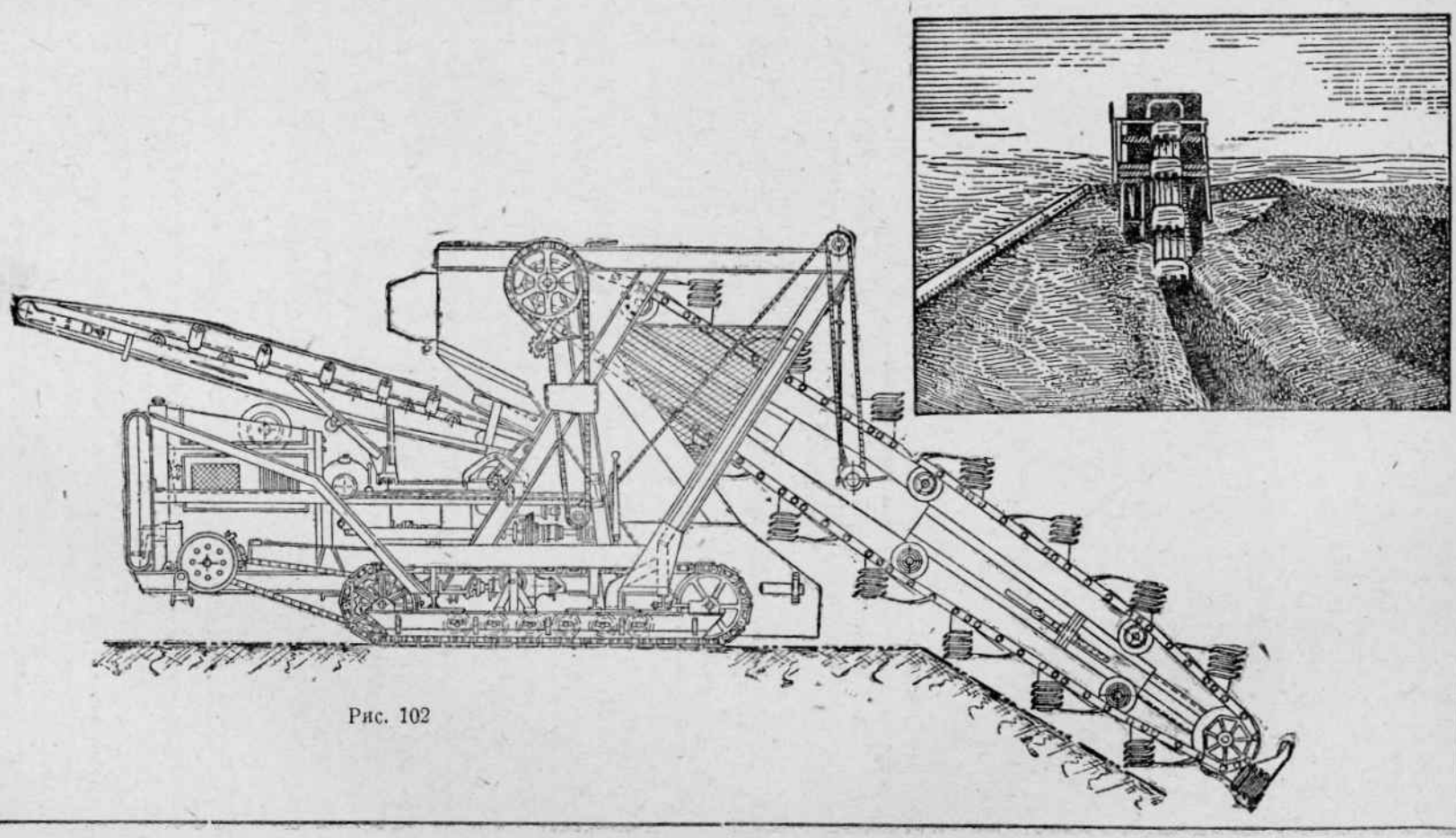


Рис. 102

Трубы, подлежащие укладке, развозятся предварительно вдоль трассы намеченной линии. Чугунные трубы малых диаметров (до 300 *мм*) опускаются в котлован вручную. Опускание труб более крупных диаметров производится при помощи талей с установкой козел или треног. Для опускания труб больших диаметров целесообразно применение кранов (на гусеничном ходу).

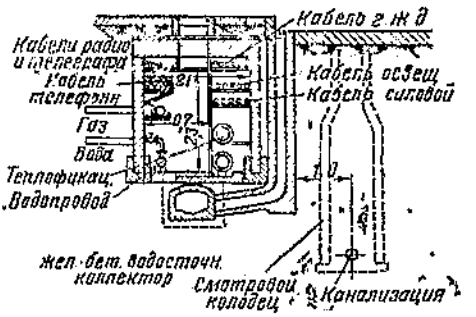


Рис. 101

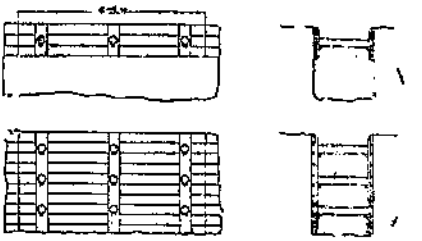


Рис. 103

Раструбные трубы при опускании заводятся гладкими концами в раструбы соседних, ранее уложенных, звеньев.

Для удобства заделки раструбов под ними устраиваются специальные небольшие приямки, которые после заделки стыка засыпаются и тщательно утрамбовываются.

При укладке стальных труб со сварными стыками опускание их в траншею производится секциями из нескольких звеньев, стыки которых свариваются на поверхности. Число труб в секции зависит от диаметра и колеблется от 3—4 для крупных диаметров и более — для средних и малых диаметров. Опускание таких секций производится на талях.

Асбестоцементные трубы ввиду их хрупкости требуют особой осторожности при опускании в траншею.

Уложенные трубы засыпаются мягкой землей, не содержащей твердых комьев, осколков кирпича или камней. После засыпки труб на 0,25 *м* земля тщательно утрамбовывается. Дальнейшая засыпка ведется с тщательной утрамбовкой засыпаемого грунта.

Деревянные клепочные трубы плохо сопротивляются внешним нагрузкам и поэтому также требуют особой осторожности при их засыпке. Для водопроводов больших диаметров (более 600 *мм*) слой засыпки земли над шелыгой трубы не следует принимать более 0,5—0,75 *м*. Засыпку труб на высоту до $^2/_3$ диаметра следует вести небольшими слоями с тщательной утрамбовкой. Остальная часть засыпки в пределах верхней части трубы и над трубой ведется без утрамбовки. При прокладке деревянных непрерывных труб в сильно водянистых грунтах для них должно быть устроено специальное свайное основание.

§ 38. Испытание и дезинфекция уложенных водопроводных линий

Испытание линий. После укладки водопроводная линия перед пуском в эксплоатацию должна быть подвергнута испытанию. Во всякой водопроводной линии, при любой конструкции стыковых соединений имеет место некоторая утечка воды. Однако эта утечка не должна превосходить определенной величины, установленной опытом эксплоатации водопроводов. Испытание же уложенных линий должно показать качество выполненных монтажных работ и, в частности, водонепроницаемости стыков.

Метод испытания зависит от материала труб и типа стыков.

Испытание металлических труб производится путем так называемой «опрессовки» после засыпки траншей землей.

Испытанию подвергаются последовательно отдельные участки линии протяжением 0,5—1,0 *км*; каждый участок с обоих концов закрывается глухими фланцами, укрепленными специальными упорами во избежание разрыва линии в стыках. К повышенным точкам линии присоединяются вертикальные стояки с вентилями для выпуска воздуха, а к наиболее низкой точке присоединяется линия для подвода воды от напорной сети или от насоса. После наполнения линии водой и выпуска воздуха задвижка, соединяющая линию с сетью, закрывается и трубопровод подвергается опрессовке при помощи передвижного пресса (рис. 104).

Согласно существующим нормам давление при испытании $p_и$ доводится до $p_и = 2p_р$, т. е. двойной величины рабочего давления, на которое рассчитана эта линия при абсолютной его величине не более 5 *ат*. При рабочем давлении более 5 *ат*:

$$p_и = p_р + 5 \ ат.$$

После того как при помощи пресса давление в испытуемой линии доведено до требуемой величины, пресс выключается из работы и наблюдают по манометру (присоединенному к линии) за падением давления, происходящим вследствие утечки воды. Линия может быть принята, если давление в ней падает на 1 *ат* не менее чем за 3—5 мин.

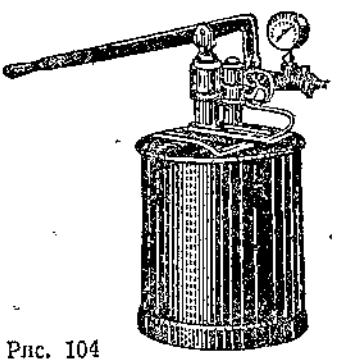


Рис. 104

Обычно перед окончательным испытанием производится предварительное испытание линии для выявления и устранения отдельных дефектов в монтаже стыков.

Подобный метод испытания не дает достаточно верного представления о действительной величине утечки, так как в воде, находящейся в трубах, неизбежно присутствие воздуха, изменяющего свой объем при прессовке линии и задерживающего падение давления при утечке. Это вызывает ошибки при определении величины утечки.

Поэтому наряду с опрессовкой линии следует определять величину утечки воды из испытуемой линии.

Величина утечки в литрах в сутки при рабочем давлении может быть определена для металлических труб по формуле, применяемой на московском водопроводе:

$$q = \frac{1\,440\,(p_и - p)\,W}{(p+1)\,(p_и+1)\,t} \sqrt{\frac{p_{p_1}}{p_и}},$$

где $p_и$ — давление в *ат* по манометру, до которого прессуется линия;

p — давление в *ат* к концу испытания через t мин. (при выключенном прессе);

$p_р$ — рабочее давление в *ат*;

W — объем воздуха в *л*, находящегося в воде, заполняющей испытуемый участок линии (при атмосферном давлении).

Величина W может быть определена на основании закона Бойля-Мариотта, если предположить для упрощения, что вся подкачиваемая в линию вода Q идет на сжатие воздуха; тогда:

$$W = \frac{(P+1)\,(P_1+1)}{P_1 - P} Q,$$

где P и P_1 — давление по манометру в начале и конце процесса подкачивания воды в линию;

Q — количество воды в *л*, поданной в трубопровод в период между моментами с давлением P и P_1.

Схема установки оборудования и присоединения испытываемого участка показана на рис. 105.

Величина утечки для металлических труб не должна превышать 1 *м*³ в сутки на 1 *дм* диаметра трубы и на 1 *км* длины линии.

Гидравлическое испытание асбестоцементных труб производится тем же способом, при этом следует учитывать наличие в асбестоцементных трубах значительного количества воздуха, благодаря конструкции их стыковых соединений. Допускаемая величина утечки в водопроводах из асбестоцементных труб может быть принята та же, что и при металлических трубах.

Для железобетонных труб эта величина может быть принята в 1—1¼ *м*³/*сутки* на 1 *дм* внутреннего диаметра и 1 *км* длины линии на каждую атмосферу давления.

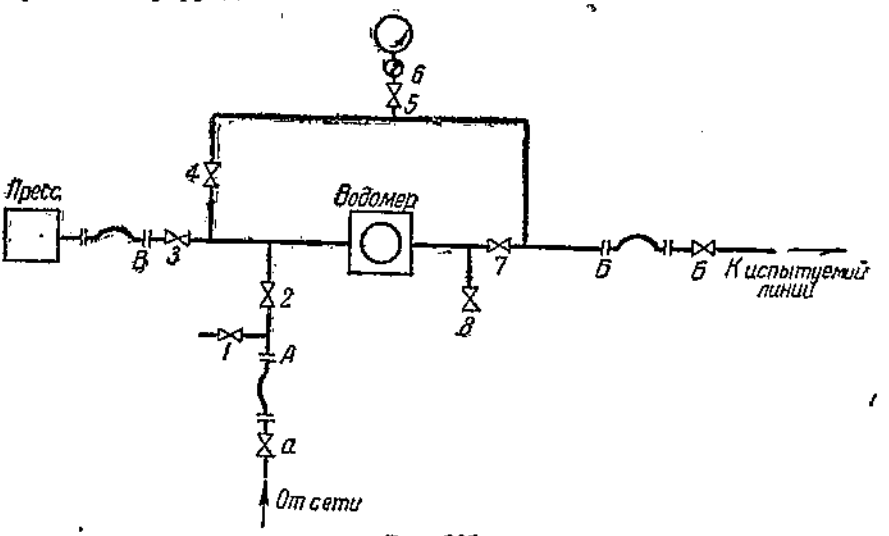


Рис. 105

Испытание водопроводов из деревянных труб имеет ряд особенностей. Водоводы из непрерывных клепочных труб после укладки подвергают промачиванию, чтобы получить разбухание клепок. Для этого в трубопровод подается вода под небольшим давлением; промачивание длится 14—15 суток. В процессе промачивания утечка воды из труб весьма велика и постепенно уменьшается по мере разбухания клепок. После окончания промачивания производится испытание линии на давление, равное или немного превышающее (на 0,5 *ат*) рабочее давление. Продолжительность гидравлического испытания 10—12 час. Максимально допускаемая величина утечки по Н. Н. Гениеву принимается в пределах от 1,5 до 6,0 *м*³ на 1 *дм* внутреннего диаметра, 1 *км* длины и 1 *ат* давления. Испытание деревянных клепочных водопроводов производится до их засыпки землей.

Дезинфекция линий. После укладки и гидравлического испытания уложенных водопроводных линий они перед пуском в эксплоатацию должны быть промыты и продезинфицированы. Промывка осуществляется путем пропуска через участок уложенной линии воды с большой скоростью. Трубы большого диаметра, допускающие работу в них изнутри, должны быть перед промывкой очищены от возможных загрязнений вручную. Промытый участок подвергается дезинфекции раствором хлора, подаваемого в пропускаемую по тру-

бам воду. Доза хлора принимается в 20—30 *мг* на 1 *л* воды. Хлорирование линии продолжается примерно в течение суток. После этого сеть должна быть надлежащим образом промыта.

§ 39. Особенности укладки водопроводных труб в районах вечной мерзлоты

Проектирование и укладка водопроводной сети в условиях вечной мерзлоты имеет ряд специфических особенностей. Так как район распространения вечно мерзлых грунтов охватывает около 45% всей территории СССР, изучение вопросов строительства водопроводов в этих условиях является крайне важным. Ввиду того что водопроводные трубы приходится укладывать в грунтах, имеющих постоянно или периодически отрицательную температуру, необходимо принимать меры против замерзания в них воды. Борьба с замерзанием ведется в основном путем: а) подогрева воды и б) обеспечения постоянного движения воды в трубах.

Кроме того, при укладке труб применяют теплоизоляцию. Глубина заложения труб в условиях вечной мерзлоты на основании данных практики строительства принимается порядка 2,5 *м*.

На дно траншеи укладывается слой гравия, щебня или песка в 0,2—0,5 *м* для предохранения труб от действия пучения грунта и в качестве дренажа для отвода талой воды. В качестве теплоизолирующей засыпки применяют торф, песок, шлак — слоем 0,4—0,6 *м*. В песчаных сухих грунтах во избежание поступления холодного воздуха в траншею целесообразно устройство глиняной прослойки толщиной около 0,5 *м*. На рис. 106 даны два способа укладки труб: в траншеях (рис. 106, *а* и *б*) и в насыпи (рис. 106, *в*). Последний способ имеет применение при слабых и сильно пучащихся грунтах в тех случаях, когда это позволяют условия укладки (например для водоводов). В отдельных случаях применяют поверхностную прокладку труб в деревянном коробе, заполненном теплоизолирующим материалом с устройством водонепроницаемой кровли (имеет применение в водопроводах промышленных предприятий).

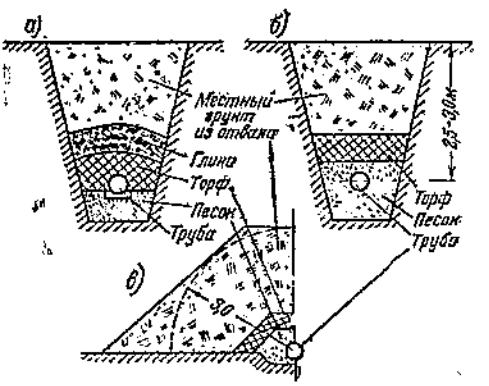


Рис. 106

В ряде случаев циркуляция воды в водопроводной сети при обычном водоразборе бывает недостаточна для предохранения воды от замерзания в условиях вечной мерзлоты. Тогда прибегают к устройству искусственной циркуляции специальными циркуляционными насосами, устанавливаемыми около водонапорной башни или резервуара.

Наибольшая опасность замерзания имеет место в тупиковых участках сети и, в частности, в домовых ответвлениях. При отсутствии непрерывного и достаточного водоразбора в конце таких линий, целесообразно подавать воду в регулирующие баки, обеспечивая постоянный расход, минимально необходимый для предохранения воды в трубах от замерзания.

Подогрев воды может осуществляться путем «сосредоточенного» подогрева и «попутного» подогрева. Первый способ, имеющий преимущественное распространение, состоит в нагреве воды, подаваемой

в сеть паром или электрическим током. Для нагрева воды паром могут применяться чугунные паровые котлы (например Стреля) или использоваться отработанный пар от паровых насосов. Нагрев воды производится в бойлерах. Подогрев воды электротоком может производиться при помощи печей сопротивления, которые выполняются в виде проволочной спирали, намотанной на изолятор и заключенной в трубу. Нагрев воды электротоком экономически целесообразен при относительно дешевой электроэнергии.

Попутный подогрев воды может быть осуществлен при прокладке труб в каналах теплофикационной сети, где она имеется. Иные способы попутного подогрева воды (например электротоком) мало изучены и практически не применяются.

При тепловых расчетах водопроводных сетей, укладываемых в вечной мерзлоте, необходимо задаваться наинизшей температурой подаваемой потребителю воды, принимаемой обычно в 2—4°, и знать температуру грунта, коэфициенты теплопроводности грунта, толщину снегового покрова и режим работы сети.

Закон изменения температуры по длине трубы может быть выражен формулой:

$$\ln \frac{t_2 - t_0}{t_1 - t_0} = -0{,}278 \frac{M}{Q} L,$$

где t_1 и t_2 — температура в начале и конце участка трубы;

t_0 — расчетная (наинизшая) температура окружающей среды;

Q — расход воды в трубе в *л/сек*;

L — длина трубы в *км*, M — модуль теплопередачи на 1 *пог. м* в *ккал/м час град*.

Для трубы, уложенной в грунт, M определяется по формуле Форхгеймера (упрощенной)

$$M = \frac{2\pi\lambda}{\ln \frac{4h}{D}},$$

где λ — коэфициент теплопроводности грунта в *ккал/м час град*;

h — глубина заложения в *м*;

D — диаметр трубы в *м*.

Обозначив $-0{,}278 \frac{M}{Q} L = B$, получим: $\frac{t_2 - t_0}{t_1 - t_0} = e^{-B}$, где e — основание неперовых логарифмов, откуда для различных показателей B и при заданных t_2 и t_1 может быть определена искомая температура в начале линии. Для приближенных вычислений эта формула может быть представлена в упрощенном виде: $\frac{t_2 - t_0}{t_1 - t_0} = \frac{1 - \frac{B}{2}}{1 + \frac{B}{2}}$. Зная температуру ($t$) воды, получаемой из источника, определяют разность температур $t - t_1$ и количество тепла, необходимое для подогрева:

$$W = \gamma c Q (t - t_1),$$

где γ — вес единицы объема воды в *кг/м*^{3} и c — теплоемкость воды в *ккал/кг*.

При укладке труб с изоляцией величина λ определяется с учетом характера изоляции.

Пример. Дано: $t_2 = 4°$; $t_0 = -5°$; $L = 1\,000$ *м*; $D = 150$ *мм*, $\lambda = 2$ $h = 3{,}0$ *м*, $Q = 10$ *л/сек*.

Модуль теплопередачи $M = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 2{,}0}{\ln \frac{4 \cdot 3{,}0}{0{,}15}} = 2{,}87;$

$$B = 0{,}278 \frac{2{,}87}{10} \cdot 1{,}0 = 0{,}08;$$

$$\frac{t_2 - t_0}{t_1 - t_0} = e^{-0{,}08} = 0{,}92,$$

откуда $t_1 = 4{,}9°$.

При расходе воды 10 *л/сек*, или 36 000 *л/час*, и температуре воды источника 2° расход тепла для подогрева воды составит: $(4{,}9 - 2) \cdot 36\,000 = 104\,000$ *ккал/час*.

При проектировании необходимо проверить температурные условия линий сети для различного режима их работы, учитывая изменения расхода.

Кроме того, для отдельных линий сети необходимо определить время замерзания воды в трубах при прекращении ее движения. Эти расчеты позволяют выяснить необходимость применения искусственной циркуляции.

Время полного замерзания воды в трубе в часах τ может быть определено по формуле: $\tau = 62\,800 \frac{D^2}{t_0 M}$, где температура грунта t_0 берется со знаком +. При этом допускается, что коэфициент теплопередачи теплоизоляции постоянен и сопротивлением ледяной корки теплопередаче можно пренебречь (последнее ведет к некоторому уменьшению расчетного периода замерзания по сравнению с действительным). Для исчисления времени замерзания начальная температура воды принята равной нулю. Для случая предыдущего примера (при $D = 150$ *мм*, $M = 2{,}87$ и $t_0 = -5°$)

$$\tau = 62\,800 \frac{0{,}15^2}{5 \cdot 2{,}87} \approx 99 \text{ час.}$$

§ 40. Техническая эксплоатация сети

Нормальная и бесперебойная работа водопроводной сети обусловливается хорошо организованной эксплоатацией.

В крупных городах эксплоатацией водопроводной сети ведает специальная «служба сети» управления или треста, эксплоатирующего водопровод. Водопроводная сеть разделяется на несколько эксплоатационных участков.

В небольших городах техническая эксплоатация сети осуществляется специальными бригадами под руководством десятника. Подобные же бригады работают на водопроводах промышленных предприятий и железнодорожных станций.

В задачи службы сети (или специальных бригад) входит:

1) наблюдение за работой и исправностью сети и ее оборудования;

2) исправление обнаруживаемых дефектов: текущий ремонт стыковых соединений и арматуры;

3) промывка и прочистка водопроводных труб;

4) ликвидация аварий на сети;

5) присоединение новых участков сети и домовых ответвлений;

6) оттаивание замерзших линий.

Наблюдение за работой и исправностью сети ведется путем регулярного планового обхода сети и осмотра всех колодцев с расположенными в них арматурой и стыками. Такой обход делается несколько раз в год и во всяком случае не менее двух раз в год — осенью и весной.

При осмотре проверяется исправность задвижек, пожарных гидрантов, затяжка болтов на фланцевых соединениях и т. п. Замеченные неисправности немедленно устраняются.

Весьма важным вопросом при обследовании работы сети является определение размеров и причин утечки воды из сети. Утечка обычно (за исключением случаев аварий) происходит из-за недостаточной плотности стыковых соединений труб и неполного закрывания водоразборной арматуры.

В водопроводах, имеющих водомеры, установленные на насосных станциях и у отдельных потребителей, общая величина утечки определяется как разность между количествами поданной и израсходованной воды. При отсутствии водомеров у потребителей и возможности временно отключить их от сети величина утечки будет равна количеству воды, поданной в сеть.

Осмотр водоразборных кранов позволяет установить, что является основной причиной утечки — неисправность ли водопроводной арматуры или плохое состояние стыков. Для нахождения места утечки воды из сети, происходящей вследствие повреждения стыков или трещины в трубе, без раскопки линии, применяются специальные чувствительные слуховые приборы — стетоскопы, аквафоны и т. п. Устанавливая эти приборы на земле вблизи предполагаемого места утечки и передвигая их вдоль линии по изменению силы звука можно обнаружить место утечки. Обнаруженные неисправности устраняются путем производства соответствующего ремонта.

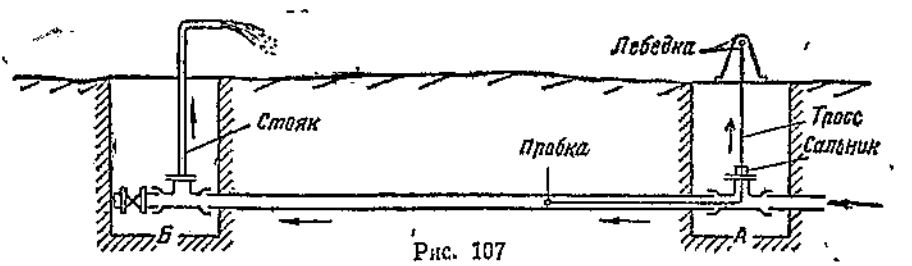


Рис. 107

В зависимости от качества водопроводной воды, наличия в ней различных механических и химических примесей происходит загрязнение труб сети. Легко отделимые неплотные осадки удаляются путем промывки сети обратным током воды. Для увеличения эффективности промывки в трубы небольшого диаметра (до 200 *мм*) вводятся специальные шаровые деревянные пробки, имеющие диаметр примерно на 25 *мм* меньше внутреннего диаметра трубы. Деревянный шар вводят в промываемый участок трубы между гидрантами *А* и *Б* (рис. 107) через пожарную подставку гидранта *А*, сняв с нее пожарную колонку.

Верхний отросток пожарной подставки гидранта *А* закрывается фланцем с отверстием и сальником, через который пропускается трос, одним концом прикрепленный к пробке и другим к валу лебедки. На пожарной подставке гидранта *Б* устанавливается стояк из железной трубы. Вода идет от гидранта *А* к гидранту *Б* и увлекает за собой шар, медленно спускаемый на тросе. Вода обтекает шар с большой скоростью, смывает отложения со стенок труб и выносит их, изливаясь, через стояк подставки гидранта *Б*.

Рис. 108

Твердые отложения на стенках трубы удаляются при помощи режущих приборов, протаскиваемых на тросах через трубу и срезающих отложения со стенок. На рис. 108 показан один из таких приборов. Режущие скребки вращаются водой благодаря наличию специальной турбинки, расположенной внутри конической части, к которой прикреплен скребок. Вслед за скребками идет щетка, окончательно очищающая стенки труб от разрушенного скребками слоя отложений.

Весьма ответственным делом является ликвидация аварий на сети. Разрыв труб может произойти вследствие самых различных причин: действия гидравлических ударов, температурных колебаний, внешних механических воздействий. В военное время при бомбардировках с воздуха также могут иметь место разрушения труб водопроводной сети.

Важно возможно быстрее обнаружить место аварии, чтобы выключить поврежденный участок и прекратить утечку воды.

Если вода при аварии не выступает на поверхность, то место аварии можно обнаружить по падению напора в прилегающих участках сети, иногда по затоплению близкорасположенных канализационных колодцев и подвалов домов.

Перед ликвидацией повреждения прежде всего следует выключить поврежденный участок, закрыв соответствующие задвижки. В зависимости от размера и характера аварии приходится или заменять всю трубу или (при незначительных трещинах) вырезать поврежденную часть ее, соединяя оставшиеся концы надвижными или свертными муфтами. Ввиду возможности загрязнения труб при аварии после окончания ремонта следует произвести дезинфекцию линии хлором.

В зимнее время иногда происходит замерзание воды в трубах сети, особенно на тупиковых участках. Оттаивание замороженных участков производится при помощи горячей воды или электротоком. В первом случае в специальном котелке нагревают воду, поступающую в него непосредственно из сети. Затем горячую воду вводят в замороженный участок по пеньковому рукаву.

При электропрогреве через трубу пропускается ток в 300—400 *а* при 50 *в*, нагревающий стенки трубы и вызывающий таяние льда.

Глава VIII

АРМАТУРА И СООРУЖЕНИЯ НА СЕТИ

§ 41. Оборудование сети арматурой

Наружные сети городских и промышленных водопроводов оборудуются различного рода арматурой, обеспечивающей их правильную эксплоатацию.

При устройстве водопроводов применяются следующие основные типы арматуры: а) запорная и регулирующая (задвижки и вентили); б) водоразборная (водоразборные краны, пожарные гидранты); в) предохранительная (предохранительные, обратные, редукционные клапаны, воздушные вантузы).

Рациональный выбор типа арматуры и расстановка ее на сети в зависимости от назначения и методов эксплоатации водопровода и местных условий оказывают большое влияние на работу водопровода.

§ 42. Запорная и регулирующая арматура

Основным видом запорной и регулирующей арматуры, применяемой в наружных водопроводных сетях, являются водопроводные задвижки.

Путем изменения площади поперечного сечения задвижки изменяется расход воды в трубе; при полном закрытии задвижки движение воды полностью прекращается. Чтобы смягчить действие возникающих

в трубах гидравлических ударов, вся применяемая на сети запорная арматура основана на принципе постепенного закрытия живого сечения.

На рис. 109 показано устройство задвижки наиболее употребительного в настоящее время типа «Москва». Чугунный корпус задвижки *а* имеет два фланца для присоединения к трубе. Вращая маховик *б*, связанный с вертикальным шпинделем *в*, имеющим винтовую нарезку, можно подымать и опускать диски *г*, закрывающие живое сечение. При опускании шпинделя он давит на клинья *д*, расположенные между дисками и, прижимая их к гнездам *е*, обеспечивает герметичность закрытия. При поднятии шпинделя клинья перестают давить на диски, поднимаются вверх и захватывают при помощи специальных заплечиков сами диски, открывая сечение трубы. При открытой задвижке диски расположены в ее верхней части вне габаритов ствола задвижки и не препятствуют движению воды. Задвижки снабжены показателем степени открытия *ж*.

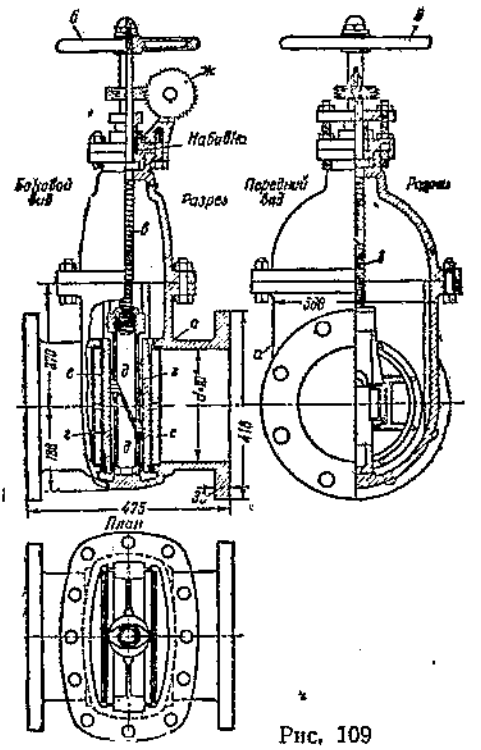


Рис. 109

Задвижки «Москва» изготовляются внутренним диаметром от 75 до 900 *мм*; при установке задвижек на трубах диаметром более 900 *мм* применяют переходы. При диаметрах от 500 *мм* и выше задвижки снабжены дополнительными «обходными» задвижками меньших диаметров (рис. 110). Обходные задвижки надо открывать перед открытием большой задвижки, чтобы уравнять давление по обе стороны ее диска и тем облегчить ее открытие. Задвижки диаметром в 600 *мм* и выше имеют, кроме того, зубчатую коническую передачу от маховика с осью, перпендикулярной оси шпинделя задвижки (рис. 111).

Другой распространенный тип задвижек — «Лудло» — имеет некоторые конструктивные отличия от типа «Москва» и технически менее совершенен.

Открывание и закрывание задвижек крупных диаметров вручную требует до 40—50 мин. и значительных усилий. Поэтому в по-

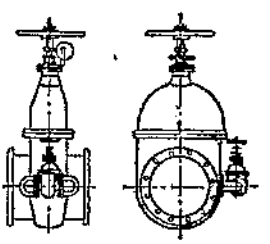


Рис. 110

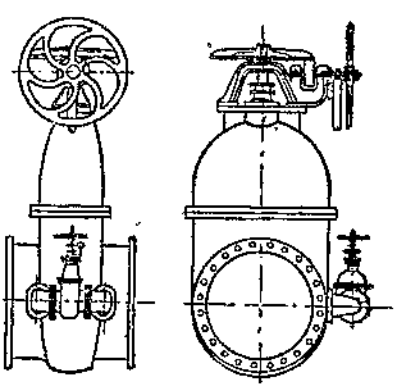


Рис. 111

следнее время стали применять механизированные задвижки. На рис. 112 показана электрифицированная задвижка; мотор установлен на ее корпусе. Управление такой задвижкой возможно на расстоянии из центрального пункта.

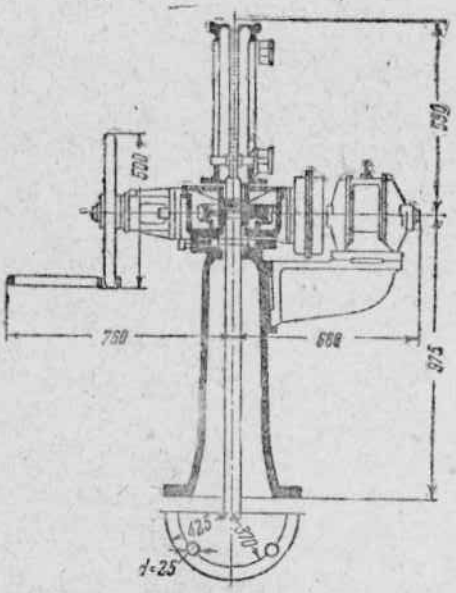


Рис. 112

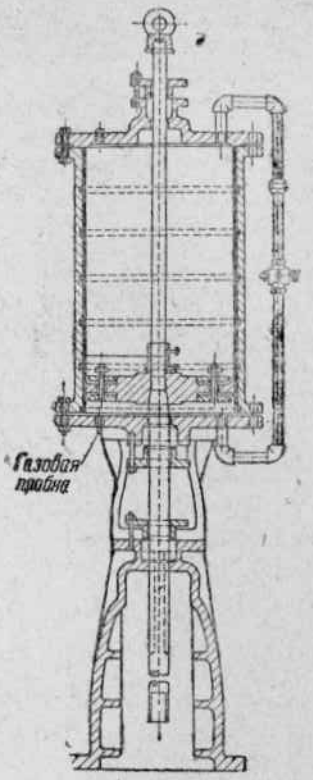


Рис. 113

На рис. 113 изображена задвижка с гидравлическим приводом, имеющая применение на насосных станциях.

На рис. 114 показан способ открывания (закрывания) задвижки посредством привода от автомобильного мотора, применяемый на московском водопроводе.

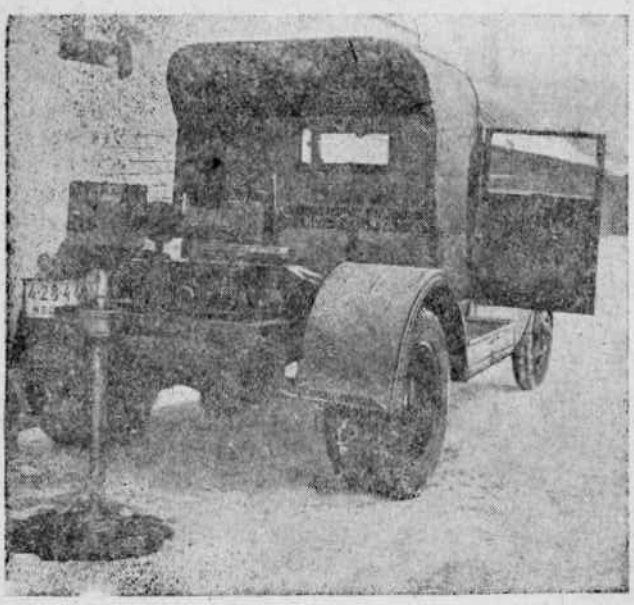


Рис. 114

Для установки задвижек нужны специальные колодцы, размеры и конструкция которых зависят от числа задвижек и их диаметра. Размещение задвижек на сети должно быть таким, чтобы при аварии на сети выключение поврежденного участка отражалось на наименьшем числе потребителей. Задвижки устанавливаются обычно в точках присоединения водоводов к сети, в точках ответвлений от магистралей и в узловых точках магистральных кольцевых сетей так, чтобы отдельные их ветви могли быть выключены. Из условий противопожарной работы сети обычно

требуется, чтобы расстановка задвижек обеспечивала возможность выключения участка, на котором расположено не более трех пожарных кранов.

На рис. 115 показано устройство одного из новейших типов задвижек — так называемой кольцевой задвижки. Открывание и закрывание задвижки происходит путем передвижения внутренней конической части *А* вдоль оси задвижки, чем достигается увеличение или уменьшение площади кольца, через которое проходит вода. Управление такой задвижкой значительно легче, чем задвижками описанных выше типов.

При устройстве ответвлений от городской сети к отдельным зданиям часто применяются трубы диаметром менее 75 *мм*; на таких ответвлениях вместо задвижек устанавливаются вентили.

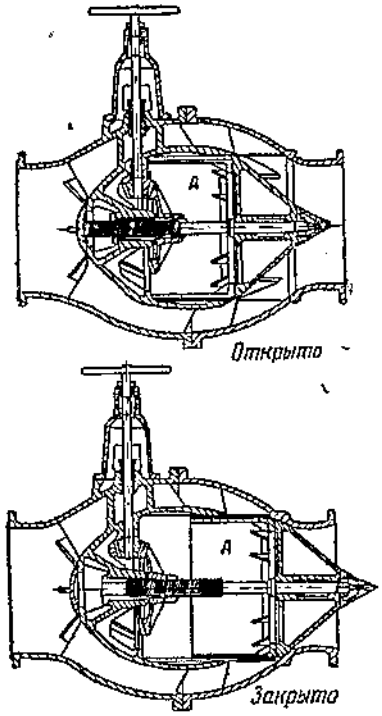


Рис. 115

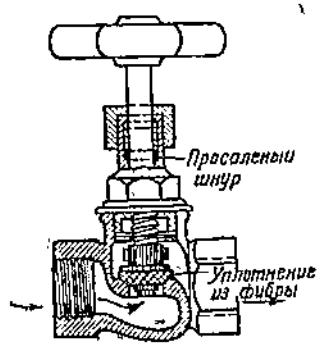


Рис. 116

На рис. 116 показан вентиль обычного типа с бронзовым корпусом, соединяемый с трубой посредством внутренней резьбы. Такие вентили изготовляются диаметром от ½ до 3″.

§ 43. Водоразборная арматура

Разбор воды из сетей городских и промышленных водопроводов, как правило, происходит через внутренние водопроводные краны, установленные в жилых и промышленных зданиях. В некоторых случаях при отсутствии домовых вводов разбор воды осуществляется непосредственно из наружной сети через установленные на сети водоразборные краны или колонки. Это имеет место в поселках временного типа, в неканализованных районах городов и т. п.

На рис. 117 показано устройство водоразборной колонки системы Черкунова, имеющей большое распространение в существующих водопроводах. Пуск воды в разборную трубу *а* осуществляется нажатием рукоятки *б*, открывающей клапан *в*.

Разбор воды из колонок обычно производится ведрами.

После пользования колонкой вода из разборной трубы, особенно в пределах надземной ее части, должна быть спущена во избежание замерзания в зимнее время. Для этого служит отводная трубка *г*, по которой вода из разборного стоячка стекает в бачок *д*. При очередном водоразборе вода из бачка засасывается эжектором *е*, установленном на подъемной трубе. Бачок из санитарных соображений закрыт и снабжен воздушной трубкой для подвода воздуха во время откачки воды.

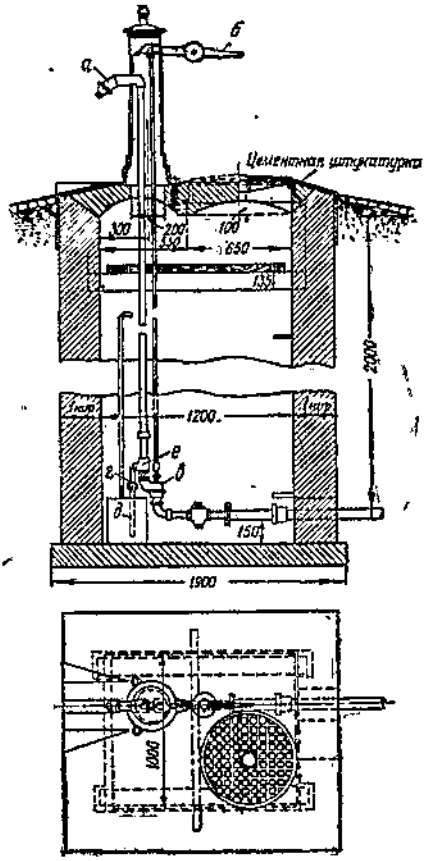


Рис. 117

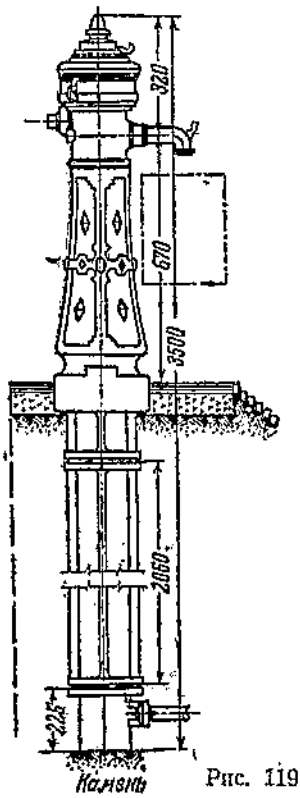


Рис. 119

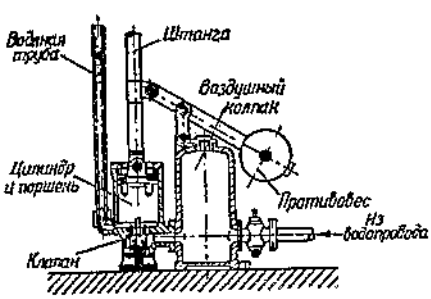


Рис. 118

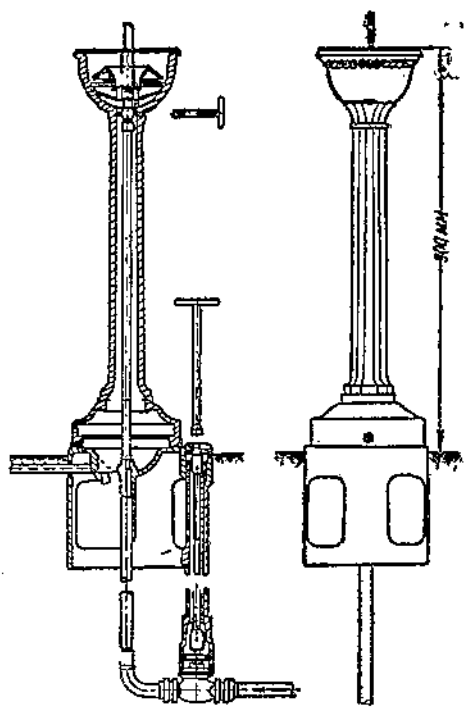


Рис. 120

Колодец, в котором установлена колонка, надо тщательно предохранять от проникания в него поверхностных вод и каких-либо загрязнений.

На рис. 118 показана нижняя часть колонки системы Машинотреста. Этот тип колонки имеет некоторые конструктивные отличия от предыдущего типа и более гигиеничен, так как бачок в такой колонке заменен закрытым цилиндром. Колонки обоих приведенных типов требуют устройства колодцев для их установки. Колонка «московского» типа (рис. 119), применяемая в периферийных районах Москвы, устанавливается непосредственно в земле без колодца. Этот тип наиболее гигиеничен ввиду полной герметичности сборника для воды, расположенного в нижней части колонки.

Водоразборные колонки устанавливаются обычно на перекрестках или вдоль улиц на расстоянии 300—500 *м* одна от другой. Для нормальной работы колонок наиболее распространенных у нас типов Черкунова и Машинотреста необходим напор в сети не менее 2 *ат*, а для колонок московского типа — не менее 0,8—1,0 *ат*.

Из водоразборных приспособлений специального назначения следует упомянуть:

а) питьевые колонки или фонтанчики (рис. 120), устанавливаемые для общественного пользования в летнее время в садах, парках, на бульварах, площадях и т. п.; на зиму эти колонки выключаются, и вода из них и из подающей трубы спускается;

б) поливочные краны, устанавливаемые для поливки зеленых насаждений и представляющие собой обычно простые стояки из стальных труб с запорными вентилями; на зиму вся поливочная часть выключается и вода из нее спускается;

в) фонтаны, устраиваемые в парках и на площадях; на рис. 121 показан пример устройства подводки воды к городскому фонтану.

Для поливки улиц, тротуаров, заводских дворов и проездов служат чаще всего ответвления от домовых водопроводов, располагаемые в специальных нишах в стенах зданий. Наполнение автоцистерн для поливки площадей и широких улиц осуществляется обычно через пожарные гидранты.

§ 44. Пожарные гидранты

Пожарные краны для наружного пожаротушения (гидранты) изготовляются подземного (рис. 122) и надземного (рис. 123) типов и устанавливаются на наружной водопроводной сети. Первые распространены преимущественно в городских водопроводах, вторые встречаются в промышленных водопроводах. На рис. 122 показан подземный пожарный кран московского типа. Кроме того, существуют стандартные краны, принятые XII Водопроводным съездом, которые имеют незначительное конструктивное отличие от кранов московского типа. Кран состоит из чугунной пожарной колонки *а*, установленной на специальной фасонной чугунной части — пожарной подставке *б*. Пожарные подставки изготовляются в виде патрубков, тройников или крестовин (рис. 124) с вертикальным фланцевым отростком. Вертикальный отросток пожарной подставки имеет диаметр 200 *мм* (8″) независимо от диаметра ствола подставки и трубы, на которой устанавливается гидрант.

Наиболее часто применяются пожарные подставки с диаметром ствола от 100 до 300 *мм*. Высота *h* вертикального отростка пожарной подставки (рис. 124) в зависимости от диаметра ствола *d* приведена в табл. 20.

Таблица 20

d в *мм*	100	125	150	200	250	300
h в *мм*	225	250	250	275	300	325

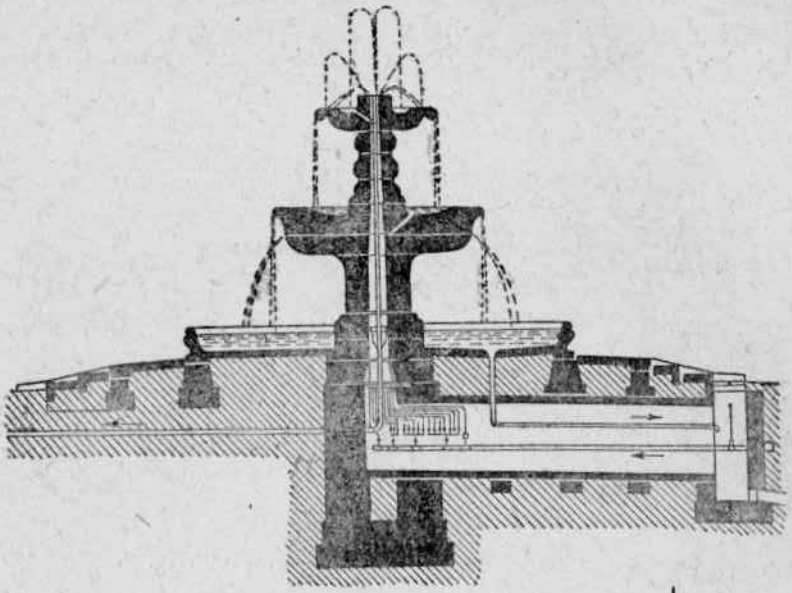


Рис. 121

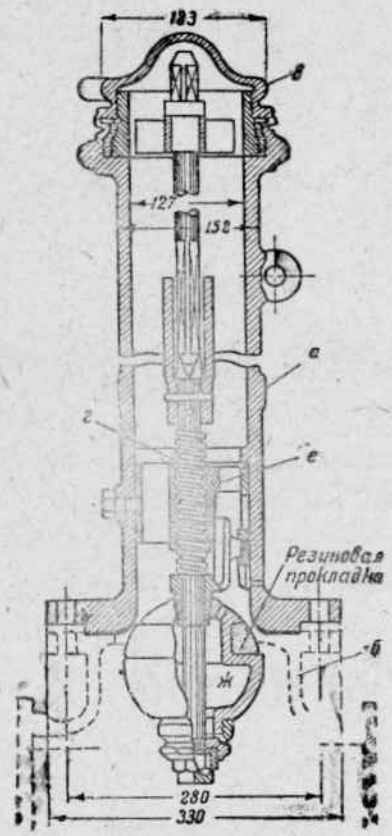


Рис. 122

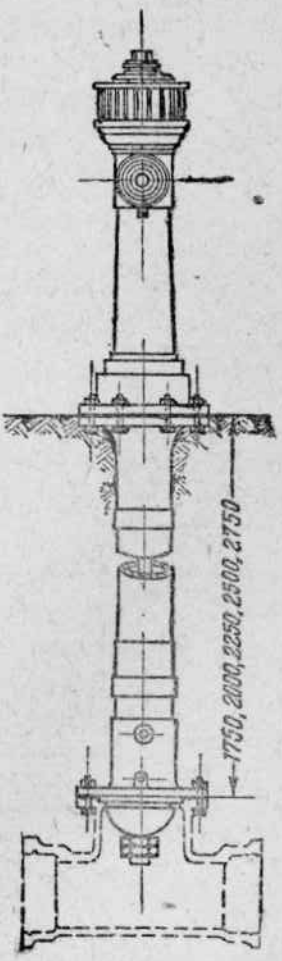


Рис. 123

У гидрантов подземного типа колонка полностью размещается в колодце.

Для того чтобы разместить пожарную колонку в колодце при различном заглублении труб, высоту колонки L принимают различных раз-

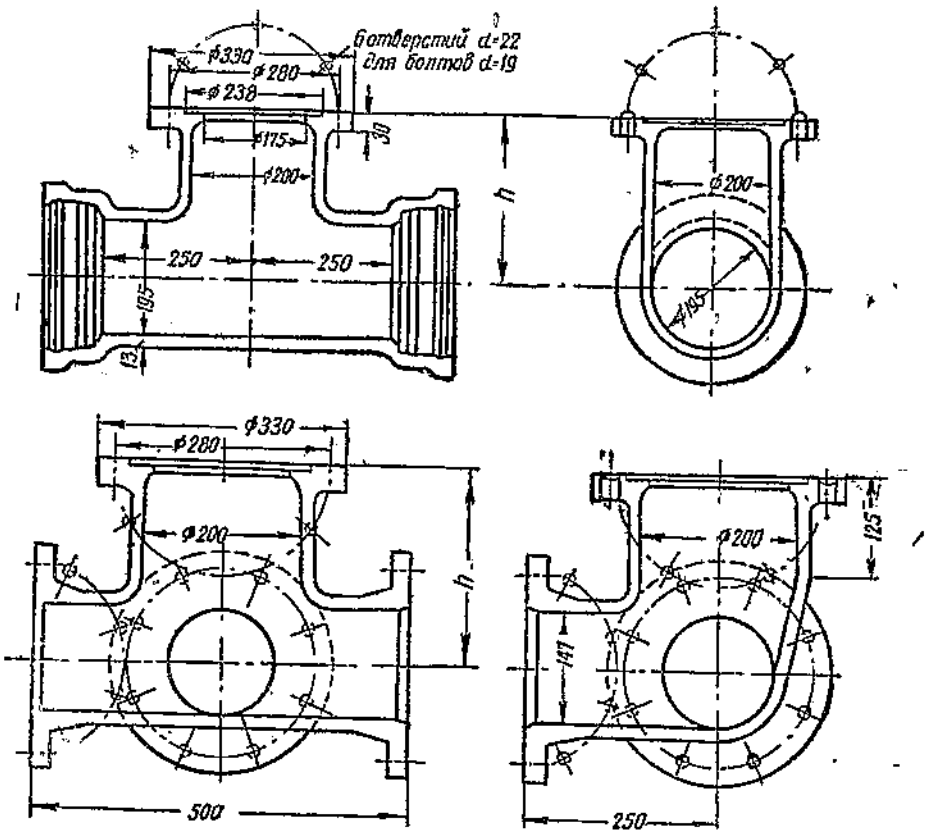


Рис. 124

меров. Подземные гидранты изготовляются пяти различных размеров (табл. 21).

Таблица 21

	№ гидранта	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
L мм	Для гидрантов московского типа	1 125	1 425	1 735	2 015	2 390
	Для гидрантов XII Водопроводного съезда	1 250	1 500	1 750	2 000	2 250

Верхняя часть колонки подземного гидранта (рис. 122) закрыта крышкой *в*, вращающейся на шарнире. Для приведения в действие подземного гидранта работники прибывшей на место пожарной команды открывают люк колодца, поднимают крышку пожарной ко-

лонки и устанавливают на последней надземную переносную часть гидранта — стендер (рис. 125).

Вращение рукоятки стендера передается вертикальному стальному стержню, соединенному со стержнем пожарной колонки (рис. 122). Нарезка, имеющаяся на стержне пожарной колонки, входит в медную гайку *е* и заставляет стержень передвигаться в вертикальном направлении, открывая и закрывая связаный с ним шаровой клапан *ж*. Вода поднимается по пожарной колонке и подводится к патрубкам *а* (рис. 125), снабженным быстро соединяющимися гайками (системы Ротта), посредством которых к патрубкам присоединяются пожарные рукава. Специальные отверстия в нижней части колонки обеспечивают спуск воды из нее (после ее закрытия) во избежание замерзания.

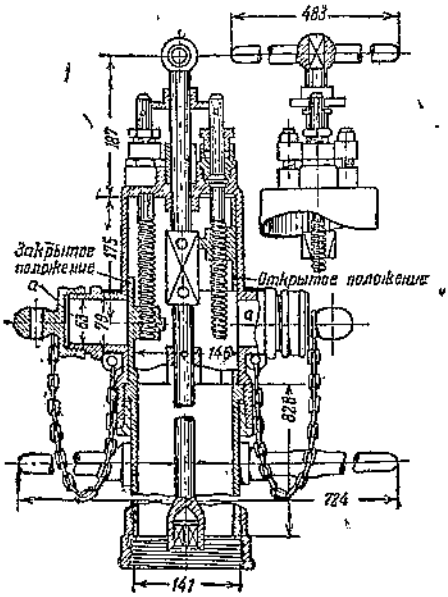


Рис. 125

Кроме гидрантов диаметром 125 *мм* (5″), изготовляются гидранты диаметром 75 *мм* (3″). Устройство их проще, но конструкция менее совершенна. Так как расход воды, даваемый этими гидрантами, значительно меньше, чем расход, даваемый 125-*мм* гидрантами, их применение допускается лишь при небольших расчетных расходах на тушение пожара (например в поселках). Пожарные гидранты устанавливают на сети, исходя из условий наиболее удобного пожаротушения обслуживаемых зданий. Обычно расстояние между пожарными гидрантами принимается в 80—100 *м* по длине водопроводной линии.

§ 45. Обратные и предохранительные клапаны

Обратный клапан пропускает воду лишь в одном направлении; при изменении движения воды клапан автоматически закрывается. Обратные клапаны устанавливаются в начале водоводов — за насосами для предотвращения обратного тока воды при порче и остановке насоса.

Кроме того, на наружной водопроводной сети обратные клапаны устанавливаются иногда на ответвлениях, в которых нежелательно допускать обратное движение воды, например на ответвлениях, подающих воду из городской сети в башни, баки и резервуары, снабжающие водой отдельные промышленные предприятия.

На рис. 126 показано устройство обратного клапана наиболее распространенного у нас типа. Внутри чугунного корпуса клапана помещается крышка *а*, вращающаяся на шарнире *б*. Клапан допускает движение воды только в направлении, показанном стрелкой. При обратном движении воды крышка захлопывается. Недостатком клапана является его мгновенное закрывание, вызывающее в трубах гидравлический удар. Более совершенные конструкции клапана предусматривают постепенное его закрывание; так, клапан, показанный на рис. 127, имеет масляный тормоз *В*. Отросток *Б* рычага *А*, насаженного на ось клапана, при его закрывании упирается в шток тормоза и замедляет закрывание. Противовес на рычаге *А* поддерживает клапан в открытом состоянии.

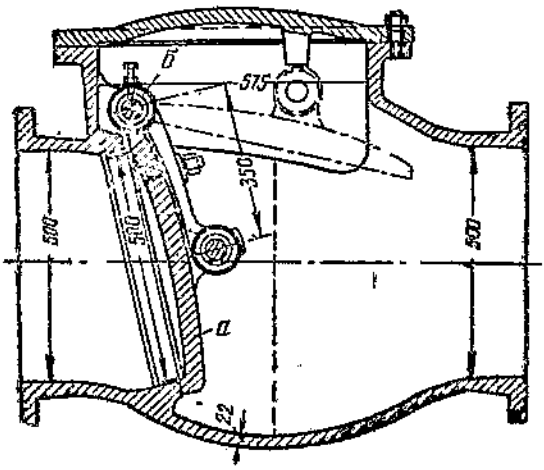


Рис. 126

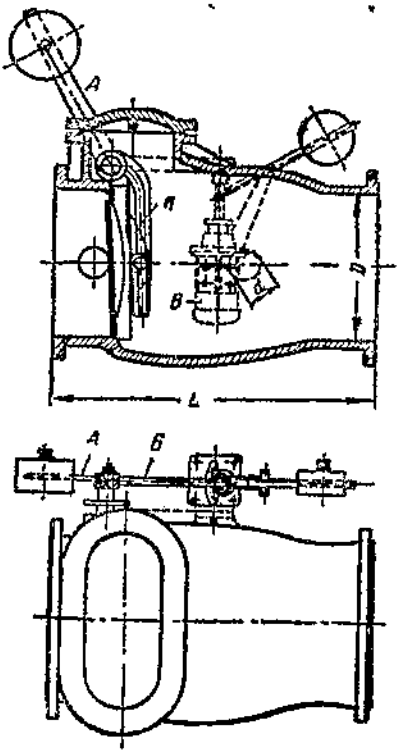


Рис. 127

Предохранительные клапаны предназначаются для защиты водопроводных труб от действия гидравлических ударов. На рис. 128 показан пружинный предохранительный клапан. Пружина его отрегулирована на определенное давление в трубах. При повышении давления сверх критической величины клапан открывается и вода вытекает из трубы; это вызывает падение давления и смягчает действие гидравлического удара. Кроме пружинных клапанов, имеют применение клапаны рычажной системы с противовесом (рис. 129), также отрегулированные на определенное критическое давление.

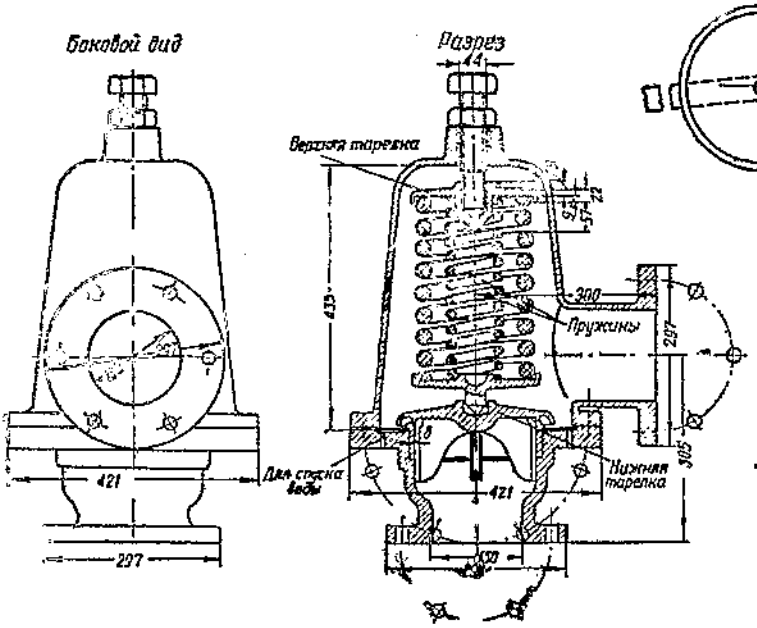


Рис. 128

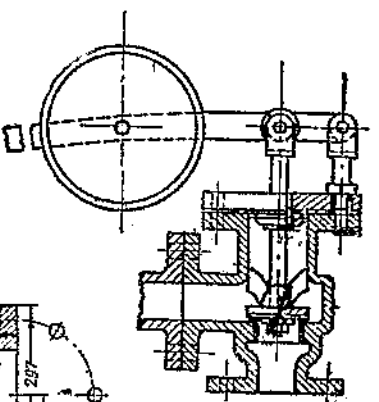


Рис. 129

§ 46. Воздушные вантузы

Воздушные вантузы устанавливаются в возвышенных точках водопроводной сети и служат для автоматического удаления выделяющегося из воды воздуха.

На рис. 130 показано устройство воздушного вантуза наиболее распространенного типа. В чугунном корпусе *а* с крышкой *б* помещается

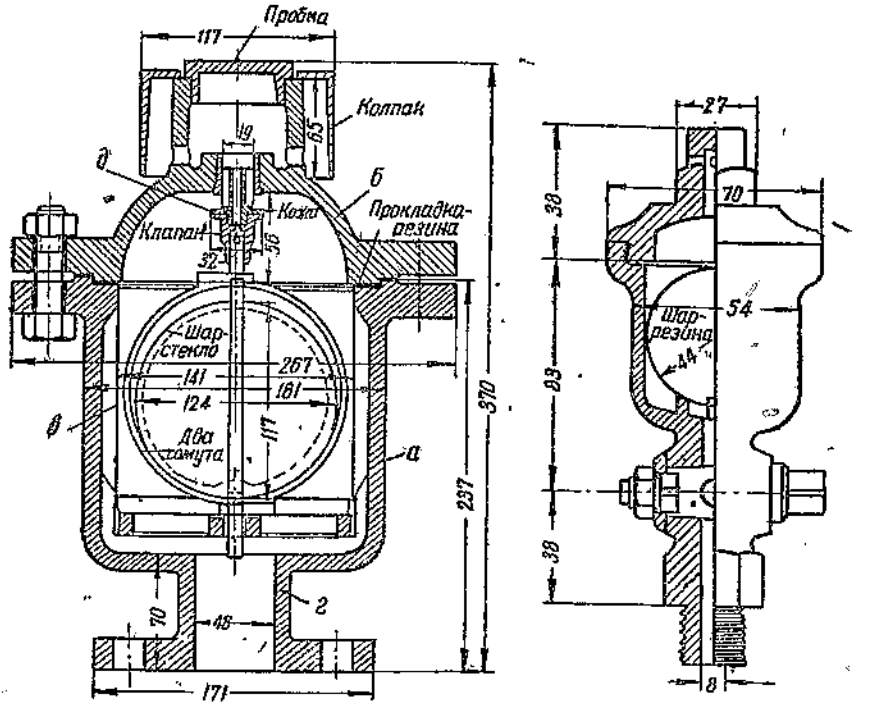


Рис. 130

медная сетка *в*, внутри которой расположен стеклянный полый шар, имеющий медные ободы. Выделяющийся из воды воздух через патрубок *г* проходит в корпус вантуза и скапливается в его верхней части. Шар плавает в воде и меняет свое положение в зависимости от количества находящегося в приборе воздуха. При накоплении воздуха шар опускается и открывает соединенный с ним клапан *д*, и воздух выходит наружу. После этого вода, заполняющая вантуз, поднимает шар и закрывает клапан.

Вантузы устанавливаются в колодцах, тщательно защищенных от возможных загрязнений.

§ 47. Деталировка сети

При составлении проекта наружной водопроводной сети после определения диаметров и выбора материала труб составляется деталировка всех узлов сети. Деталировка дается на рабочих чертежах, где условными обозначениями наносятся арматура и фасонные части, из которых должны монтироваться отдельные узлы сети. Правильное конструирование узлов и рациональное использование существующих в сортаменте фасонных частей весьма важно, так как удешевляет устройство сети и уменьшает размеры колодцев. При составлении деталировки сети прежде всего намечают места установки на ней задвижек и

пожарных кранов в соответствии с указанными выше принципами. После этого приступают к подбору фасонных частей, составляющих отдельные узлы.

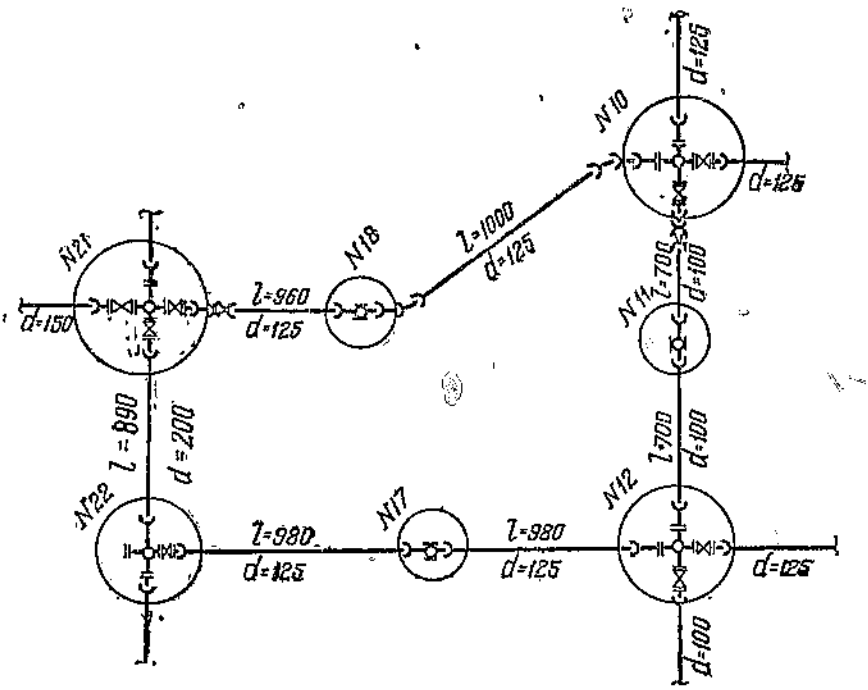


Рис. 131

На рис. 131 дан пример деталировки одного района сети. На основании сделанной деталировки можно составить спецификацию фасонных частей и арматуры, требующихся для устройства сети.

§ 48. Колодцы

Как выше указано, вся водопроводная арматура, устанавливаемая на сети, располагается внутри специально устраиваемых для этого колодцев. Размеры колодцев в плане зависят от диаметра труб, числа и характера предметов арматуры, а также от числа фланцевых фасонных частей, помещенных в колодце. Глубина колодцев определяется в зависимости от принятой глубины заложения труб (в соответствии с глубиной промерзания). Колодцы устраивают из кирпича, бетона, железобетона и дерева.

На рис. 132 приведен пример устройства кирпичного колодца размером в плане 1,25 × 1,25 *м* при глубине заложения труб в 2,0 *м*. На рис. 132,*а* показана конструкция колодца с центральным расположением люка и на рис. 132,*б* — с боковым. Толщина стенок колодца — 25 *см* (в один кирпич); днище толщиной 9 *см* устроено из бетона марки 50 на щебеночной подготовке толщиной 5 *см*. В стенках колодца оставляются проемы для прохода труб, перекрываемые кирпичными сводиками. Колодец, изображенный на рис. 132,*б*, имеет плоское железобетонное перекрытие.

Размеры кирпичных колодцев (рис. 132) для труб различных диаметров приведены в табл. 22.

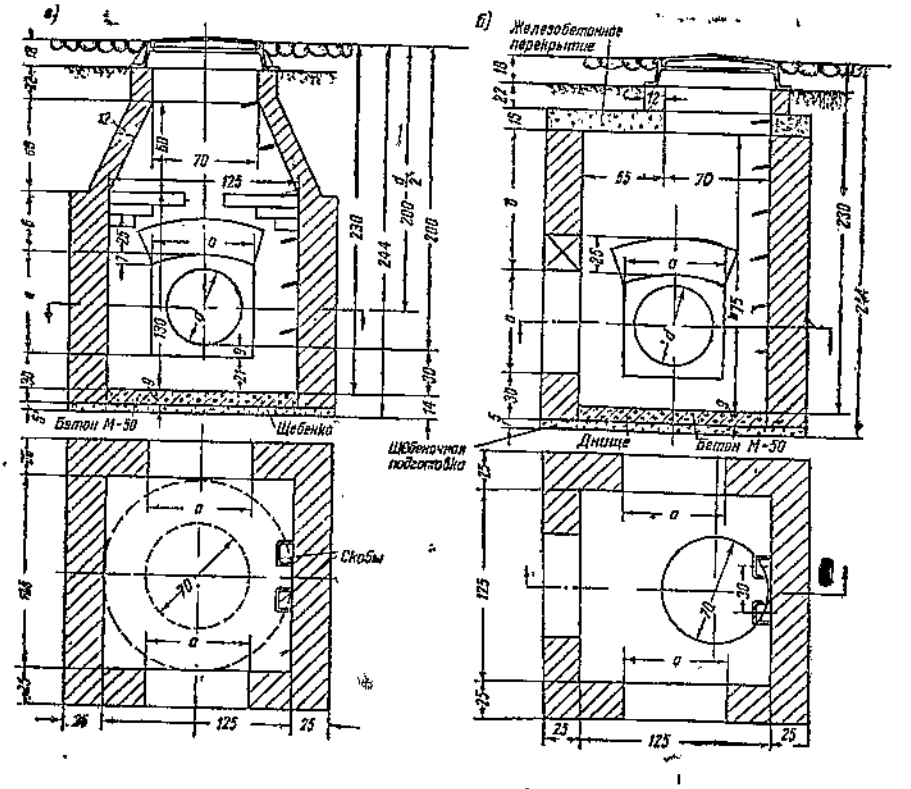


Рис. 132

Таблица 22

Размеры колодцев *см*	Диаметр труб *d см*							
	50	45	40	35	30	25	20	10
$200-\frac{d}{2}$	175	177,5	180	182,5	185	187,5	190	195
а	68	63	58	53	48	43	38	28
б	41	46	51	56	61	66	71	81
в	86	91	96	101	106	111	116	126

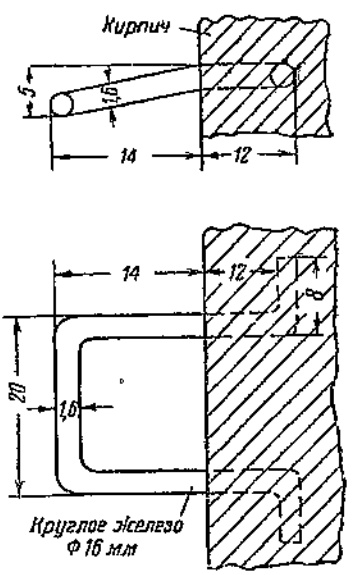


Рис. 133

Для спуска в колодец в его стенки вделаны железные скобы (рис. 133). Горловина колодца перекрыта чугунным люком с чугунной же крышкой. Такой люк (трест ВТКО) показан на рис. 134. На рис. 135 изображен колодец размерами в плане 1,0 × 1,0 *м* (минимально допустимые размеры) при глубине заложения труб 2,50 *м*.

На рис. 136 показана установка в кирпичном колодце подземного пожарного гидранта московского типа. В зависимости от глубины заложения трубы должен быть подобран номер пожарного гидранта; по табл. 23 легко произвести этот подбор. Высоту пожарной колонки L и вертикального отростка пожарной подставки можно определить по табл. 20 и 21.

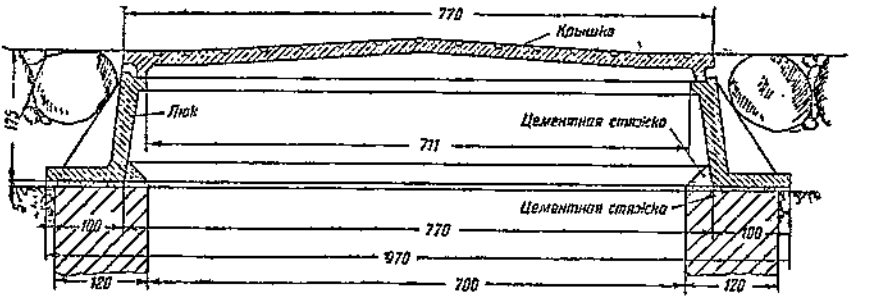


Рис. 134

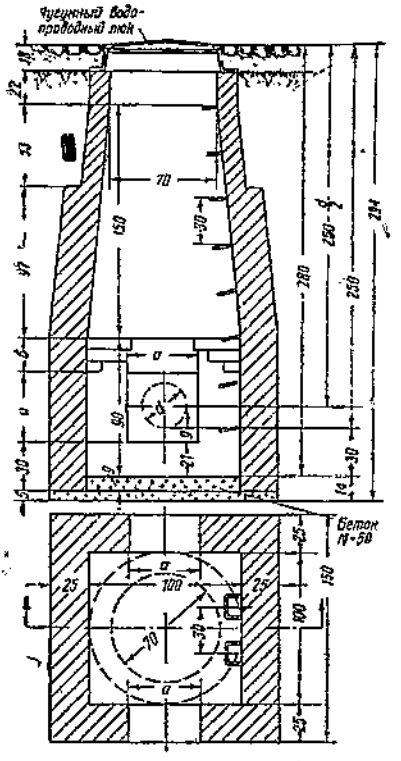


Рис. 135

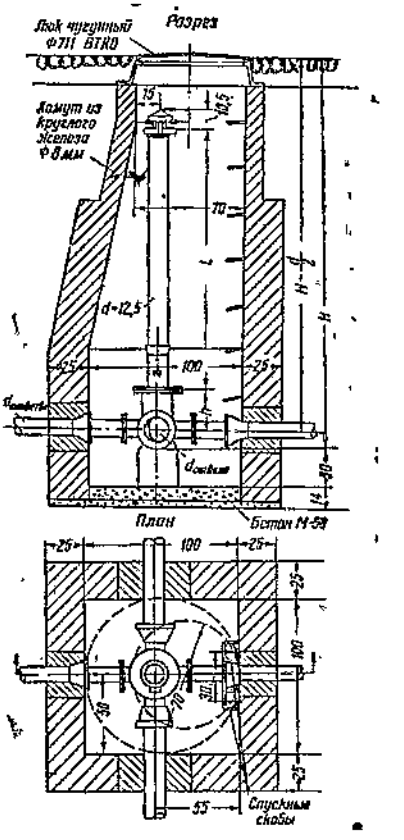


Рис. 136

Пожарная подставка, как видно из рис. 136, опирается на кирпичный столбик, сложенный на дне колодца.

Таблица 23

Глубина заложения труб (донизу) *H см*	Диаметр труб в *мм*					
	100	125	150	200	250	300
175	№ 1	№ 1	№ 1	—	—	—
200	№ 2	№ 2	№ 2	№ 1	№ 1	№ 1
225	—	№ 2	№ 2	№ 2	№ 2	№ 2
250	№ 3	№ 3	№ 3	№ 3	№ 3	№ 3
275	№ 4	№ 4	№ 4	№ 4	№ 4	№ 4
300	№ 5	№ 5	№ 5	—	—	—
325	—	—	—	№ 5	№ 5	№ 5

Проемы в стенках колодца после монтажа узла сети закладываются в полкирпича, и остающиеся вокруг трубы зазоры конопатятся паклей. Чтобы предотвратить проникание воды внутрь колодцев при сооружении их в водянистых грунтах, проемы для труб должны иметь герметичную заделку; пример такой заделки для кирпичного колодца показан на рис. 137.

Большое распространение имеют колодцы из бетонных колец (рис. 138). Кольца изготовляются на заводах бетонных изделий. При большом объеме работ эти заводы организуются на месте строительства. Высота кольца — 70 *см*, диаметр 1,0—1,25 *м* и толщина стенки — 10 *см*. Нижнее кольцо колодца монтируется из четырех железобетонных блоков высотой 75 *см* с проемами для прохода труб. Для удобства конструирования колодца требуемой глубины (в соответствии с глубиной заложения труб), кроме колец нормальной высоты (70 *см*), изготовляются полукольца (высотой 35 *см*).

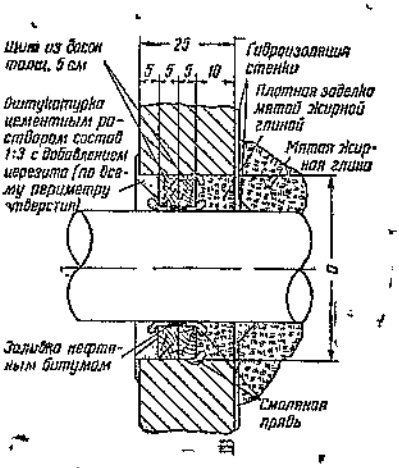


Рис. 137

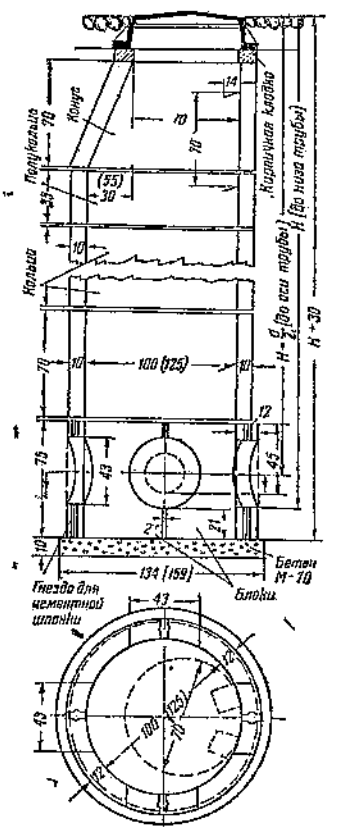


Рис. 138

Верхняя часть колодца представляет собой конус, который служит переходом от цилиндрической части колодца к люку. При использовании колодцев для установки пожарных гидрантов расположение люка, а следовательно, и форма конуса должны обеспечивать удобное пользование краном и проникание в колодец.

На рис. 138 показан бетонный колодец диаметром 1,0 и 1,25 *м*; размеры, относящиеся к последнему, поставлены в скобках.

В табл. 24 приведено число элементов, из которых монтируется колодец при различной глубине заложения труб.

Таблица 24

Наименование элементов	Глубина заложения труб H в *м*								
	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50
Блоки	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Кольца	—	—	—	1	2	2	2	2	3
Полукольца	—	1	1	—	1	—	—	1	—
Конус	1	1	1	1	1	1	1	1	1

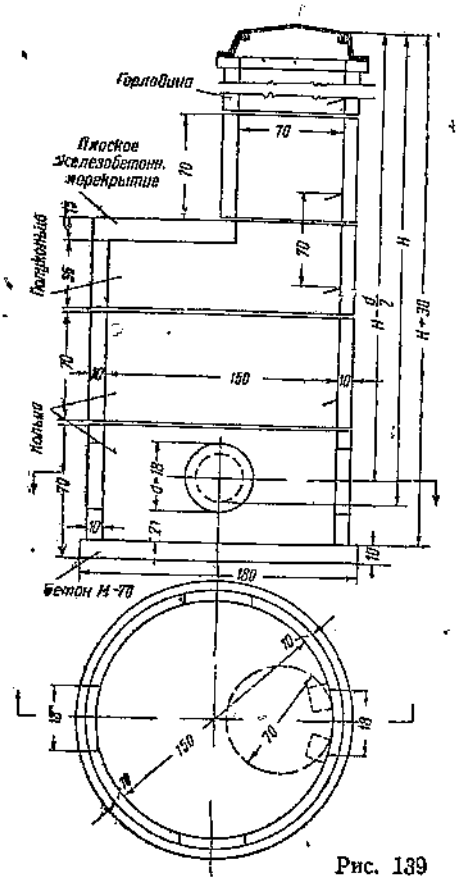


Рис. 139

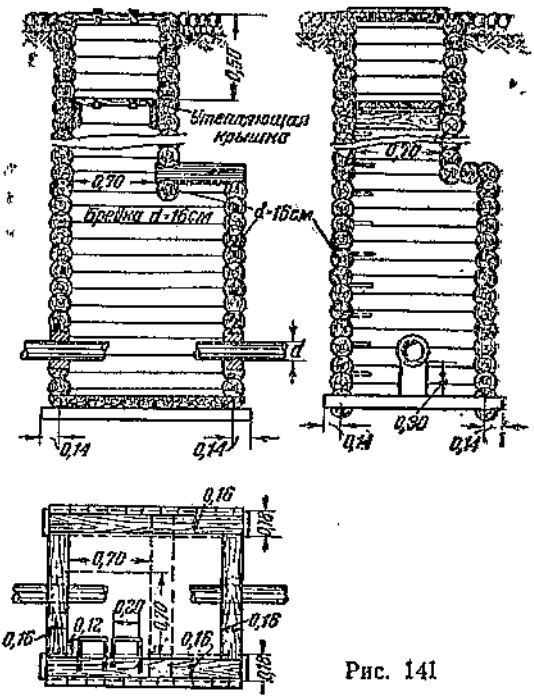


Рис. 141

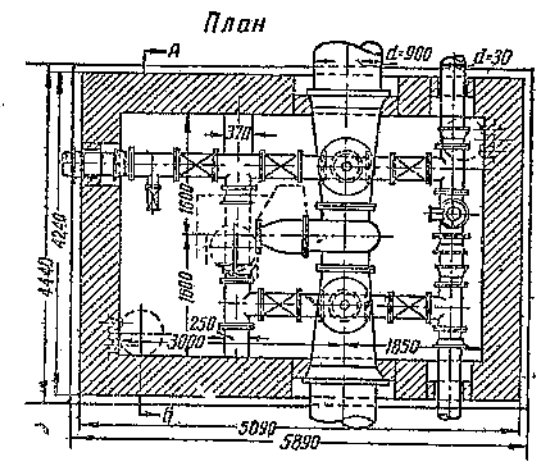


Рис. 140

На рис. 139 изображен колодец из бетонных колец диаметром 1,50 *м* с плоским железобетонным перекрытием.

Для узлов сети с большим числом задвижек и фасонных частей, особенно при большом диаметре труб, колодцы приходится устраивать весьма значительных размеров и они часто представляют собой целые подземные камеры. На рис. 140 показан такой колодец с кирпичными стенками и плоским железобетонным перекрытием.

Устройство деревянного смотрового колодца из бревен диаметром 16 *см* показано на рис. 141. Колодец имеет деревянный люк и внутреннюю крышку для утепления.

§ 49. Упоры

Давление воды, наполняющей водопроводные трубы, вызывает растягивающие усилия в материале их стенок. При этом на прямых участках линий усилий, действующих вдоль оси трубы, обычно не возникает. Подобные усилия появляются в местах поворота линий, а также в некоторых узлах сети, в частности, в местах ответвлений, в концах тупиковых участков и т. д.

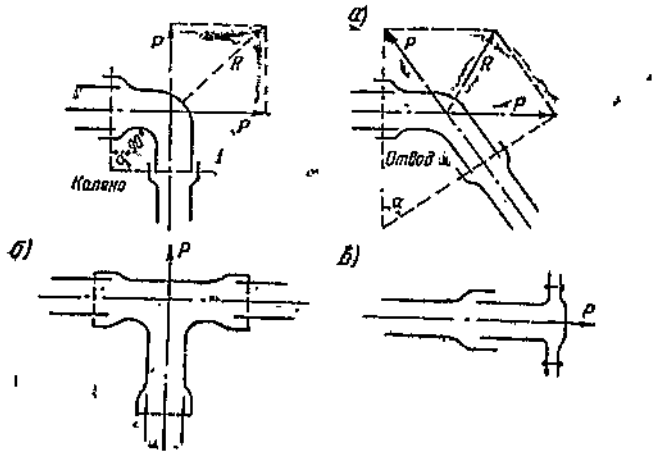


Рис. 142

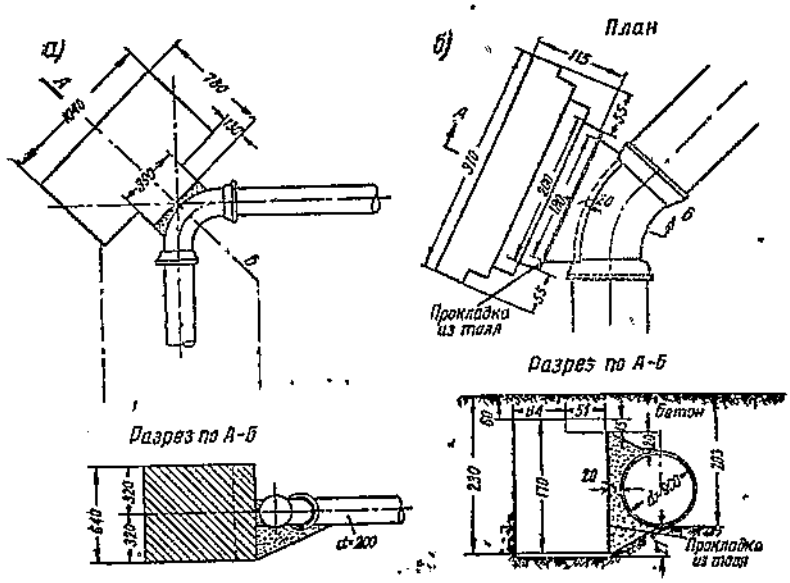


Рис. 143

На рис. 142 схематически изображено действие сил внутреннего давления воды на колена и отводы (рис. 142,*а*), на тройники (рис. 142,*б*) и на заглушки в тупиках (рис. 142, *в*). Силы P действуют вдоль оси труб и передаются на стыковые соединения. Стыки раструбных труб не рассчитаны на сопротивления продольным растягивающим силам, и для них в указанных случаях необходимо устройство специальных упоров, воспринимающих эти силы. Особенно важно предусмотреть устройство упоров для труб большого диаметра, в которых силы, разрушающие стык, могут быть весьма значительны.

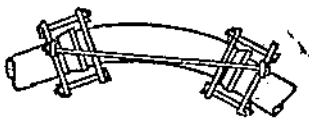


Рис. 144

Упоры конструктивно выполняются в виде кирпичных, бутовых или бетонных массивов, в которые упираются соответствующие фасонные части. Упоры могут устраиваться как в колодцах, так и прямо в земле.

На рис. 143 приведены примеры упоров для точек поворота труб ($D = 200$ *мм*, рис. 143, *а* и $D = 900$ *мм*, рис. 143, *б*). В некоторых случаях упоры могут быть заменены стяжками. На рис. 144 показана стяжка раструбного отвода посредством хомутов.

При изменении направления труб в вертикальной плоскости также необходимо устройство упоров с учетом направления сдвигающих сил (вверх или вниз).

§ 50. Пересечение водопроводных линий с железнодорожными путями и водными протоками

При пересечении водопроводных линий с путями железных дорог укладка труб в земле не допускается, так как их разрыв или порча может вызвать размыв железнодорожного полотна. Поэтому трубы под

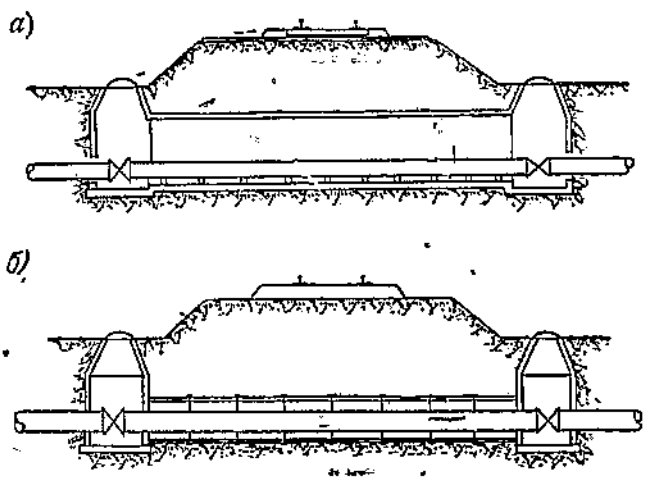
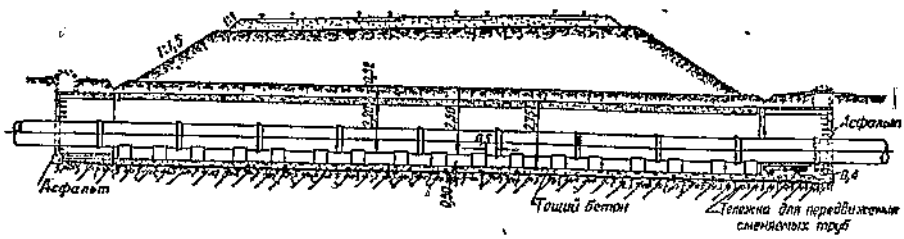


Рис. 145

путями укладывают в специальных туннелях или кожухах (футлярах). Те и другие в случае разрыва водопроводной трубы позволяют отвести воду из-под путей, и кроме того, допускают производство ремонта линии без повреждения полотна и перерыва движения.

Оба конца туннеля или кожуха располагают в смотровых колодцах, в которых устанавливают задвижки, обеспечивающие возможность выключения линии. Туннель кирпичный или бетонный (рис. 145, *а*) устраивается проходным и позволяет производить ремонт труб на месте; кожух (рис. 145, *б*) выполняется непроходным из труб, обычно



стальных, большего, чем водопроводные трубы, диаметра. Для ремонта труб их приходится извлекать из кожуха, что должно быть предусмотрено при устройстве одного из смотровых колодцев. Туннели и кожухи должны иметь уклон к одному из колодцев для слива воды при авариях труб.

Рис. 146

Производство работ по устройству туннелей может вестись открытым или туннельным способом. В первом случае глубина заложения верха туннеля от головки рельса принимается в 2 *м*; при втором способе — не менее 3 *м*.

На рис. 146 приведен пример железобетонного туннеля под путями железной дороги. Устраиваются также туннели из железобетонных колец.

Переход водопроводных труб через реки может быть осуществлен по мостам (с использованием существующих, а в отдельных случаях с устройством специальных мостов), а также по дну реки. При переходе водопроводной линии по мосту трубы подвешиваются к проезжей части моста с обеспечением доступа к ним для осмотра и ремонта. В местах перехода следует применять преимущественно стальные трубы. Трубы необходимо предохранять от замерзания путем устройства специального утепления.

На рис. 147 дан пример подвески трубы диаметром 150 *мм* под металлическим мостом.

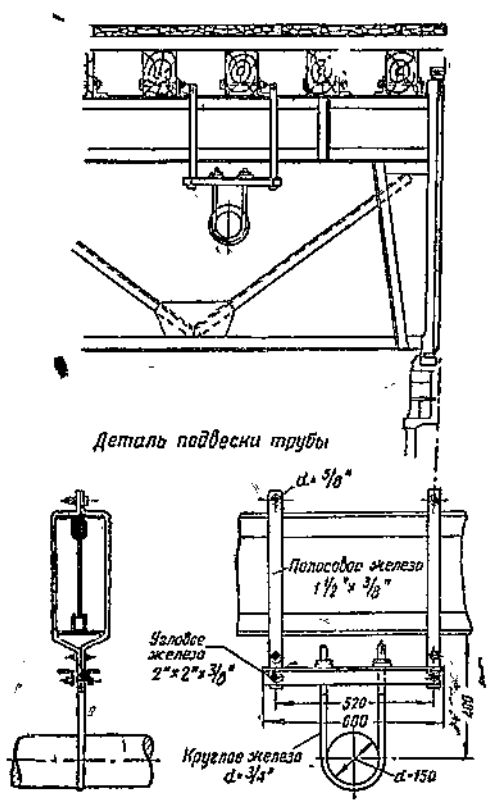


Рис. 147

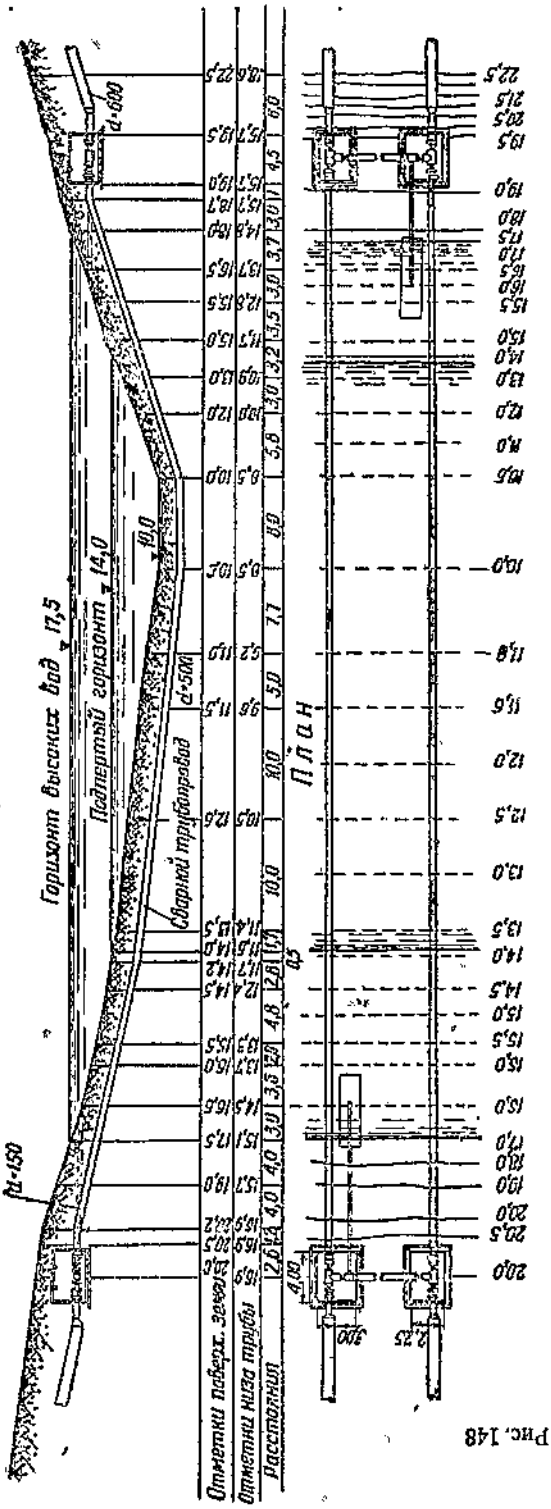


Рис. 148

Для отепления трубы могут быть заключены в деревянный короб с засыпкой торфом или опилками и обиты толем. Применяют также обертывание труб слоями различных изолирующих материалов с устройством внешней изоляции толем или кровельным железом.

Подобным же образом прокладываются трубы по городским путепроводам.

Переход труб по дну водоемов осуществляется путем устройства дюкера. Схема устройства дюкера приведена на рис. 148.

Переход по дну реки должен быть осуществлен не менее чем двумя линиями труб. Так как дюкер после его сооружения недоступен для осмотра и ремонта на месте, его следует устраивать особенно тщательно и прочно.

Для дюкера употребляют стальные трубы повышенной прочности со сварными стыками с накладками или муфтами. Дюкер собирают и сваривают на поверхности (на плотах, подмостях и т. п.) и погружают целиком в заготовленную на дне водоема траншею (путем подводного землечерпания). Оба конца дюкера должны оканчиваться выше горизонта воды в специальных смотровых колодцах с устройством переключений между линиями.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ
ВОДОПРИЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Глава IX
ЗАХВАТ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

§ 51. Способы захвата подземных вод

Сооружения для захвата подземных вод могут устраиваться в виде горизонтальных или вертикальных водосборов.

Общая схема горизонтальных водосборов показана на рис. 149. На водонепроницаемом пласте, нормально к направлению потока подземной воды укладываются дырчатые дренажные трубы или устраивается галлерея с отверстиями в ее стенках. Примерно по середине водосбора устраивается сборный колодец *К* в виде каменной шахты; сюда притекает подземная вода, получаемая дырчатыми трубами или галлереей, и отсюда забирается насосами насосной станции *М* и подается ими по водоводам.

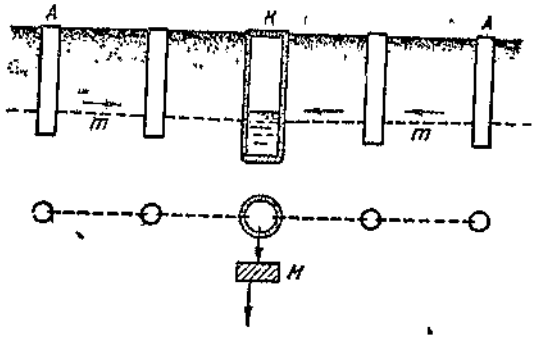


Рис. 149

На линии водосбора через каждые 25—50 *м* устраиваются смотровые колодцы, обеспечивающие возможность надзора за трубами, а также возможность их очистки. Горизонтальные водосборы по технико-экономическим соображениям применяются для получения воды из неглубоко (например до 5,0—7,0 *м*), залегающих водоносных слоев, имеющих небольшую мощность, порядка 2,0—3,0 *м*. При залегании водоносного слоя на большей глубине и значительной его мощности переходят к захвату воды вертикальными устройствами. В этом случае водосбор устраивается в виде колодцев, которые располагаются по линии водосбора на взаимных расстояниях, определяемых гидрогеологическими условиями и расчетами.

Колодцы бывают трубчатые и шахтные; иногда устраиваются комбинированные колодцы, представляющие собой сочетание обоих указанных видов.

В первом случае они имеют сравнительно небольшой диаметр и устраиваются путем предварительного бурения скважин, вследствие чего называются иногда буровыми. В сколько-нибудь большом водоснабжении требуется устройство нескольких колодцев, которые объединяются в систему, обычно называемую трубчатым водосбором (рис. 150). Шахт-

ные колодцы имеют значительные размеры в плане и устраиваются круглыми или прямоугольными с каменными, деревянными, бетонными, а в редких случаях с металлическими стенками. В больших водоснабжениях приходится иметь системы таких колодцев — так называемые шахтные водосборы (рис. 151).

В особую группу могут быть отнесены сооружения для захвата (каптажа) подземных вод, имеющих естественные выходы на дневную поверхность, — ключей. Они могут иметь вид вертикальных или горизонтальных водосборов, устраиваться в виде их комбинаций или представлять собой совершенно оригинальные устройства.

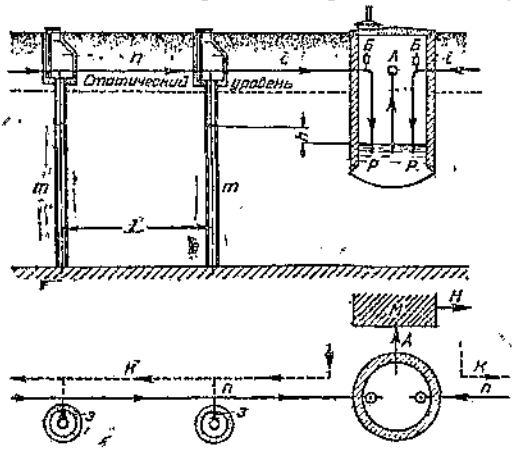


Рис. 150

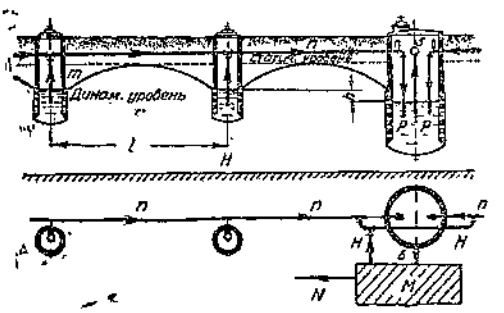


Рис. 151

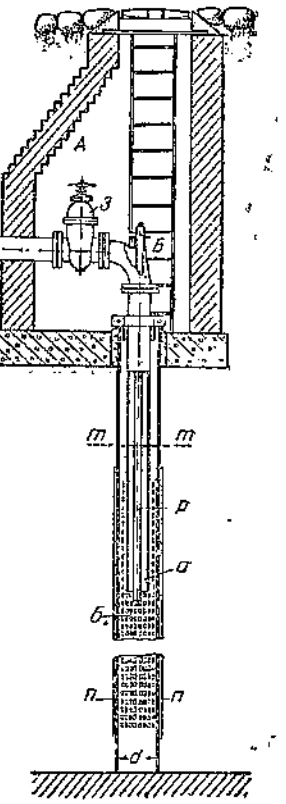


Рис. 152

Особое значение при проектировании водозаборных сооружений из подземных источников имеет установление зоны санитарной охраны. При установлении последней необходимо руководствоваться топографическими условиями местности, характером гидрографической сети, геологическими и гидрогеологическими условиями, планировочными соображениями и родом застройки и т. д.

§ 52. Трубчатые колодцы и трубчатые водосборы

Трубчатый колодец (рис. 152) представляет собой скважину, стенки которой в неустойчивых породах закреплены трубами.

В пределах эксплоатируемого водоносного слоя устанавливаются дырчатые трубы (так называемый фильтр), окружаемые часто тем или иным устройством против поступления в колодец с водой мелких частиц породы.

Для собирания тех частиц, которые все же проникают в колодец, в нижней части последнего устраивается силос глубиной 3—5 *м*,

а иногда меньше; в процессе эксплоатации периодически производится удаление из силоса отложившихся в нем частиц породы сравнительно несложными способами. Устье скважины обделывается в виде головки, которая представляет важную деталь колодца и конструкция которой зависит от многих причин, отмечаемых на стр. 186.

Для размещения элементов головки в надлежащих для эксплоатации условиях она заключается в шахту, которая представляет собой колодец обычно небольшой глубины; в отдельных случаях глубина ее может быть значительной. Часто в такой шахте располагают насосы для подъема воды из колодца; тогда шахта обращается в своего рода насосную станцию. Если колодец проходит через весь эксплоатируемый водоносный горизонт до водоупорного слоя, то его называют полным, в противном же случае — неполным.

§ 53. Бурение скважин на воду

Главные работы по устройству трубчатого колодца, что видно из сказанного выше, заключаются в бурении скважины. Последнее, в свою очередь, состоит из следующих основных операций: а) разрушения горной породы специальным рабочим наконечником, б) извлечения частиц разрушенной породы на поверхность земли, в) крепления обсадными трубами стенок скважины, если они в данной горной породе являются неустойчивыми, г) постановки фильтра в пределах эксплоатируемого водоносного слоя, если это требуется, д) так называемой строительной откачки воды.

Способы бурения на воду и инструмент

В настоящее время бурение на воду производится как ударным (штанговое, канатное), так и вращательным способом (роторное, колонковое бурение).

Прежде чем перейти к описанию отдельных способов бурения и обычно применяемых в этом случае схем, остановимся на главнейших инструментах и принадлежностях буровых работ.

Штанги трубчатые представляют собой стальные газовые трубы с наружной нарезкой на обоих концах для стыковых соединений. При бурении глубоких скважин применяют штанги из усиленных газовых труб.

Штанги соединяются между собой замками. Замок (рис. 153) состоит из двух составных частей — верхней и нижней; верхняя имеет внутреннюю нарезку, при помощи которой она навинчивается на штангу, и наружную — для соединения с нижней частью замка; последняя имеет также внутреннюю нарезку. Каждая из частей замка, будучи навернута на концы смежных штанг, во время буровых операций не отвинчивается; развинчивается лишь резьба *Б*, имеющая большой уклон конуса, обеспечивающий возможность быстрого разъединения стыка.

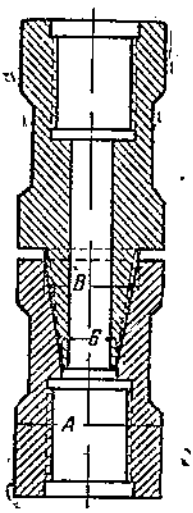


Рис. 153

Замок, кроме того, предохраняет резьбу самих штанг; изнашивается только резьба *Б*. Если последняя приходит в негодность, то замок заменяется новым. Замок имеет сквозной канал, необходимый для ведения бурения с промывкой, о которой будет сказано далее.

Канаты. При бурении применяются канаты стальные и реже пеньковые. Стальной канат изготовляется из тонких стальных оцинкованных проволок; их свивают в отдельные пряди, а затем в канат во-

круг пеньковой сердцевины, пропитанной вареным льняным маслом. Такая сердцевина обеспечивает бо́льшую гибкость каната и лучшую передачу нагрузок на отдельные пряди, предохраняя их от взаимного трения и способствуя лучшей их смазке.

Пеньковые канаты эластичнее стальных, но менее прочны; для защиты от сырости их пропитывают смолой.

Для присоединения каната к буровым инструментам служит канатный замок (ропсокет). Он представляет собой длинное цилиндрическое стальное тело со сквозным каналом внутри, где и закрепляется конец каната; внизу замок имеет коническую резьбу, а сверху — кольцевую нарезку для удобства ловли при авариях.

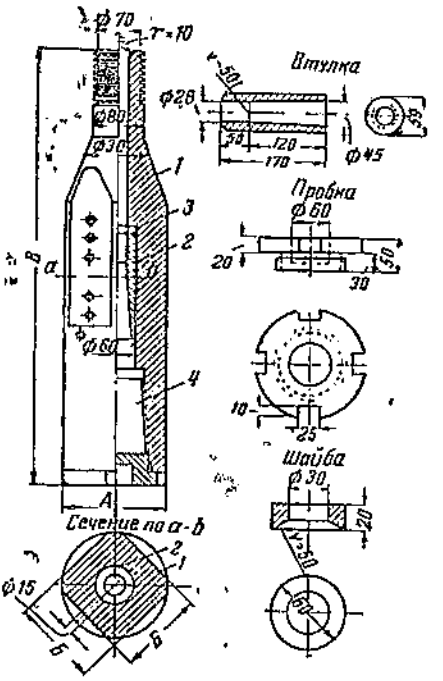


Рис. 154

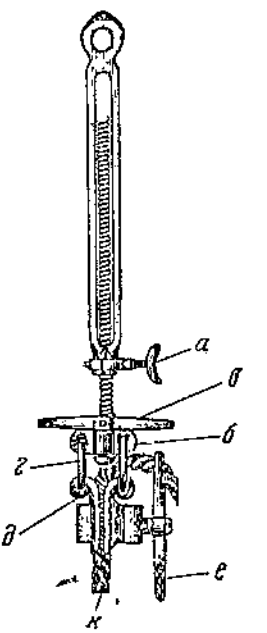


Рис. 155

Большое значение имеют самовращающиеся замки. Такой замок (рис. 154) состоит из корпуса *1*, втулки *2* и шайбы *3*. В замке имеется гнездо, в котором втулка может свободно вращаться, опираясь на шайбу. При заправке в замок каната он протягивается через шайбу и втулку, а затем расчаливается на отдельные проволочки, которые загибаются вверх таким образом, что конец получает вид груши. Такие замки обеспечивают автоматическое поворачивание каната при ударном канатном бурении.

Другим средством для поворачивания каната может служить уравнительный винт (рис. 155), представляющий собой длинную обойму — скобу; в ней имеется винт с ленточной нарезкой. Вверху обойма снабжена крюком для подвески, а внизу переходит в гайку, которая разрезана вдоль и может оттягиваться зажимом *а*. На нижнем конце винта имеется головка с шариковой пятой, на которой лежит хомутик *б*, а над ним вороток с ручками *в*. На хомутике при помощи двух сережек *г* висит канатный закреп, состоящий из двух половин, стягиваемых зажимом *е*. Действуя ручками воротка, можно удлинять или уко-

рачивать канат *К*. При поворачивании уравнительного винта для его вывинчивания происходит также поворачивание каната[1].

Рабочие наконечники применяются весьма разнообразных типов в зависимости от характера проходимых пород и от способа бурения — ударного (на канате, на штангах) или вращательного (роторного, колонкового и др.). В основном это — так называемые долотья. Из них отметим лишь главные.

Долото плоское (рис. 156) представляет собой стальную лопасть с заостренной нижней кромкой (лезвием), которая тщательно закалена[2]. Вверху лопасть переходит в шейку, имеющую конус с наружной резьбой; такого типа долото применяется при проходке вязких пород.

Долото двутавровое (рис. 157) отличается от плоского тем, что на вертикальных гранях его имеются бортовые выступы; такое долото не только дробит породу, но и выравнивает стенки скважины; предназначено оно для бурения в очень твердых породах.

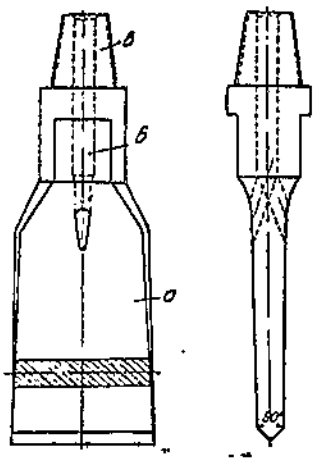


Рис. 156

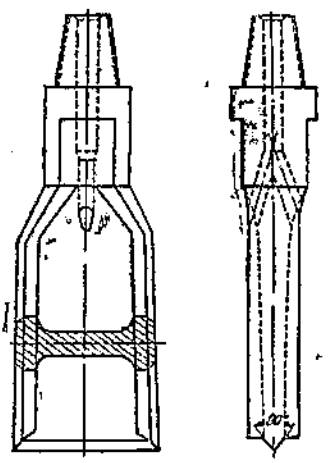


Рис. 157

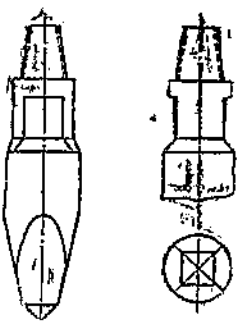


Рис. 158

Долото пирамидальное (рис. 158) предназначается для удаления с пути проходки скважин малых диаметров встречающихся валунов небольших размеров, крупной гальки и тому подобных твердых включений. Поэтому нижней части долота придана форма четырехгранной пирамиды, которая в свою очередь переходит в треугольную пирамидку; последняя может дробить упомянутые включения; верхняя же часть служит клином, который сдвигает осколки в стороны[3].

Над долотом очень часто помещают расширитель. Он состоит (рис. 159) из массивного цилиндрического корпуса; внутри него помещен стержень со спиральной пружиной, нажимающий на резцы, которые могут вращаться на пальце. Прижав резцы книзу, вводят расширитель в скважину; здесь резцы раскрываются, и тогда, действуя одновременно долотом и расширителем, не только разрушают породу на за-

[1] При вывинчивании всего винта надо быстро привести его опять в крайнее верхнее положение; для этого следует отпустить зажим *а*, подать винт вверх и затем снова стянуть зажим.

[2] Для обеспечения большей стойкости плоских и других долотьев против износа их лезвия армируются твердыми сплавами.

[3] Еще бывают долотья: крестовое (с лопастью в виде двух пересекающихся под прямым углом лопастей плоских долотьев — для бурения в твердых трещиноватых породах), эксцентричное (с несимметрично по отношению к оси шейки расположенным лезвием), округляющее (для удаления со стенок скважины оставшихся выступов после работы другими долотьями).

бое, но и срубают резцами породу со стенок скважины, увеличивая ее диаметр на 60—70 *мм* по сравнению с тем диаметром, который дает долото.

При долоте имеется всегда особая ударная штанга, которая предназначается для усиления эффекта действия долота и уменьшения повреждений сравнительно слабых рабочих штанг. Она представляет собой массивное стальное тело, имеющее на концах нарезки.

Соединение ударной штанги с рабочей производится при помощи переводника (рис. 160), применяемого вследствие сравнительной слабости резьбы рабочих штанг. При поломке резьбы переводник может быть снят и заменен запасным на то время, пока из него будет извлекаться обломок штанги.

Извлечение разрушенной породы из скважины производится желонками или путем промывки забоя.

Желонки бывают различных типов в зависимости от способа бурения и характера проходимых пород.

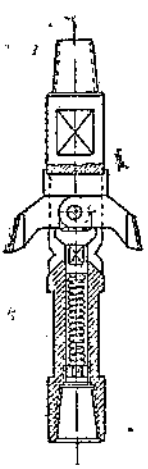


Рис. 159

Рис. 160

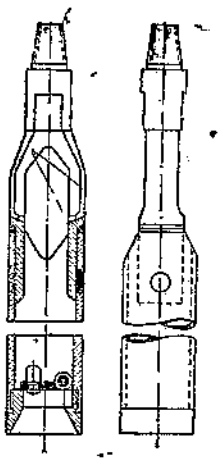


Рис. 161

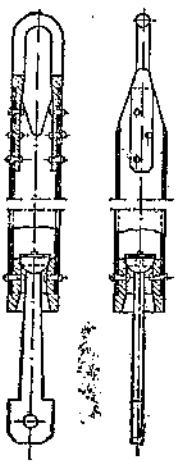


Рис. 162

Рис. 163

Обыкновенная желонка с плоским клапаном показана на рис. 161. Корпус желонки состоит из стальной трубы, которая вверху имеет вилку, оканчивающуюся головкой с резьбой для присоединения к штангам или к ушку каната. Внизу труба имеет стальной режущий башмак с сидящим на нем дисковым клапаном, который может откидываться на шарнире. Если опустить желонку в скважину и производить ею удары о забой, то частицы разрушенной породы будут входить в башмак, приподнимать клапан и наполнять трубу. Для предупреждения чрезмерного открытия клапана на нем имеется отбойный упор. Опорожнение желонки производится на поверхности земли. При наличии жидкого грунта плоский клапан заменяется шаровым.

На рис. 162 приведена желонка с полусферическим клапаном; он имеет разрыхляющий язык, который облегчает и ускоряет опорожнение желонки. Если поставить последнюю на доску языком вниз, то он приподнимет клапан, и захваченная порода выйдет из желонки через кольцевой зазор между клапаном и башмаком.

На рис. 163 показана поршневая (американская) желонка, хорошо приспособленная для работы в разжиженных породах и плывунах; она имеет внутри поршень на квадратном штоке, за который и подвешивается на канате. Над поршнем устроен шарнир, который позволяет перегибать шток и опорожнять желонку через овальные окна, имеющиеся на ее боковой поверхности.

Следует, наконец, отметить, что в США и у нас начали применяться пневматические желонки специальной конструкции, которые характеризуются значительной быстротой как заполнения их породой, так и опорожнения.

Промывка забоя. Промывку производят водой или, что гораздо лучше, глинистым раствором. Последний не должен содержать песка, иметь удельный вес 1,1—1,25 и коллоидальность не менее 95%. Приготовляется раствор в глиномешалках емкостью 1,0—4,0 $м^3$.

Насосом N (рис. 164) из резервуара R через шланги $Ш$ и вертлюг $В$ раствор подается в штанги (бурильные трубы) $Б$ и выходит через отверстие $О$ в рабочем наконечнике $Д$ на забой. При этом захватываются частицы разрушенной горной породы, вместе с которыми раствор поступает на поверхность земли по кольцевому пространству между штангами и стенками скважины.

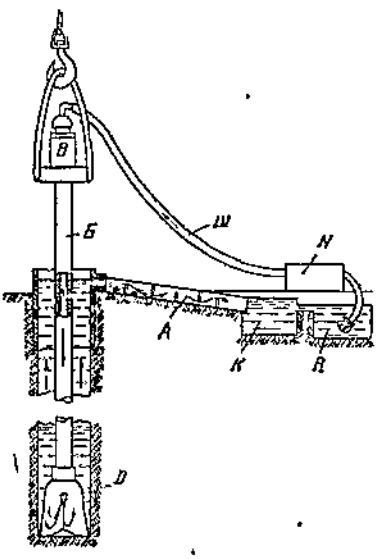


Рис. 164

По выходе из скважины раствор направляется в циркуляционную систему, состоящую из желобов $А$ и отстойников $К$, освобождается от выпадающих из него частиц породы и поступает для нового использования. Так как при промывке неизбежно имеют место потери раствора, то приходится по мере надобности добавлять в резервуар свежий глинистый раствор. Промывку следует вести с возможно короткими перерывами, так как в противном случае частицы разрушенной породы могут осесть в скважине и захватить буровой инструмент[1].

Промывку глинистым раствором необходимо, кроме того, вести осторожно, чтобы не закупорить водоносных слоев, намечаемых для эксплоатации. Особенно это важно в тех случаях, когда за отсутствием гидрогеологических данных глубина залегания водоносных слоев неизвестна. Для предупреждения этого в последнее время при промывочном бурении на воду стали применять специальный прием — так называемый карротаж, в частности, электрокарротаж при помощи особых приборов — потенциометров.

Обсадные трубы для крепления стенок скважины применяются стальные бесшовные или сварные с конической нарезкой на концах для взаимного соединения муфтами. Кроме стандартных, еще применяются трубы так называемых бакинского и грозненского типов, отличающиеся друг от друга и от стандартных труб толщинами стенок, размерами муфт и типом нарезки.

При спуске в скважину обсадных труб на нижнюю из них навинчивается башмак в целях предохранения труб от смятия и некоторого расширения скважины; последнее важно для облегчения прохода в скважине соединительных муфт.

---

[1] Описанная промывка называется прямой в отличие от редко практикующейся обратной промывки, при которой глинистый раствор подается в скважину по кольцевому промежутку между стенками ее и штангами, а поднимается к поверхности земли по штангам.

Башмаки бывают двух типов: гладкие заостренные (рис. 165) и фрезерные (рис. 166) с зубцами на нижнем крае. Первые изготовляются

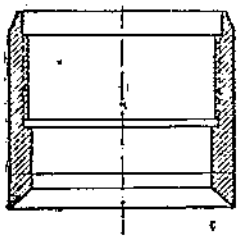


Рис. 165

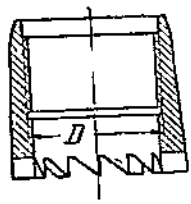


Рис. 166

из специальных стальных труб и применяются в тех случаях, когда спуск обсадных труб (в мягких породах) производится путем их забивки; вторые изготовляются из специального литья и применяются при спуске обсадных труб поворачиванием.

Вращательное бурение неглубоких скважин (ручное)

При проходке в мягких породах скважин малых диаметров глубиной примерно до 20 *м* работу ведут обычно при помощи ложкового или спирального бура.

Ложковый бур (рис. 167) представляет собой стальной пустотелый цилиндр с широкой щелью по всей его длине. Верхняя часть бура имеет вилку с головкой для присоединения к штангам; низ ци-

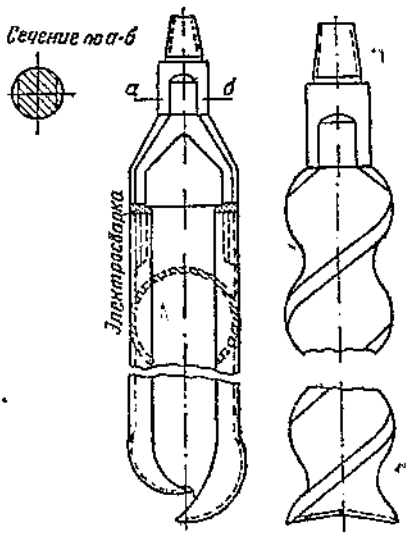


Рис. 167

Рис. 168

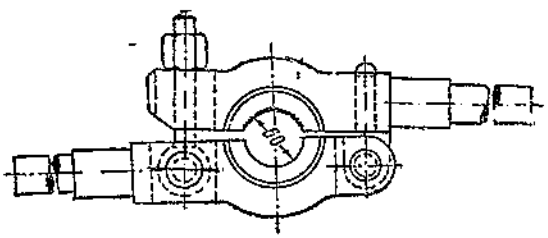


Рис. 169

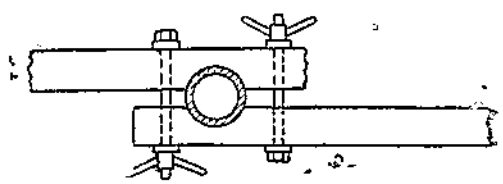


Рис. 170

линдра сделан в виде ковшеобразного сверла диаметром, несколько превышающим диаметр самого цилиндра. При работе таким буром его медленно вращают; тогда нижний конец врезается в породу, которая поступает в цилиндр и удерживается здесь вследствие трения. Освобождение бура от захваченной породы производится на поверхности земли через продольную щель. Ложковый бур применяют при бурении сыпучих пород, которые могут удерживаться в цилиндре трением; в пластичных породах (глины, суглинки) пользуются спиральным буром.

Спиральный бур (змеевик) представляет собой (рис. 168) скрученную винтом стальную полосу, которая имеет головку с нарезкой для присоединения к штангам. На нижнем конце бура имеются режущие лезвия наподобие ласточкина хвоста. При медленном вращении бура он ввинчивается в проходимую породу; последняя должна заполнять лопасти спирали и удерживаться на них. Бур имеет тот недостаток, что, захватив своими лопастями породу, он не отделяет ее от пласта, поэтому при извлечении бура из скважины он должен срезать весь тот столбик породы, который вошел в лопасти; так как это может потребовать значительных усилий, весь бур не загоняют в породу сразу, а, сделав два-три поворота, подтягивают его и тем самым надрывают ту часть породы, в которую бур уже вошел. Повторяя такие надрывы, постепенно загоняют в породу весь бур.

Начиная бурение, двое рабочих навертывают ложковый бур на штангу, надевают на нее на высоте около 1,0 *м* от поверхности земли шарнирный поворотный хомут (рис. 169) и производят вращение штанги с буром, одновременно надавливая на нее. После того как бур углубится на 0,3—0,4 *м*, его вынимают, подливают в скважину немного воды и снова опускают бур, проверяя вертикальность скважины.

По мере углубления скважины производят наращивание штанг, перестановку поворотного хомута и крепление стенок скважины обсадными трубами. При этом на нижнюю трубу надевают фрезерный башмак, а на выступающий выше поверхности земли конец труб насаживают деревянный хомут (рис. 170) и, действуя на рукоятки последнего, вращают его.

Штанговое бурение (ручное)

Оно применяется для устройства скважин глубиной примерно до 30—40 *м* при диаметрах не более 150—200 *мм* в породах мягких и средней твердости. Оно ведется при помощи треноги — вышки (рис. 171) высотой 7—12 *м* из бревен толщиной 15—20 *см*. У вершины бревна связываются болтом с серьгой, на которую подвешивается одноролико-вый блок (иногда двухроликовый). Через последний перекидывается стальной трос диаметром около 10 *мм*, один конец которого идет к балансиру, состоящему из рычага — деревянного бруса, а другой — свободный — служит для подвешивания бурового инструмента. К ногам треноги прикрепляются брусья для ручной копровой лебедки грузоподъемностью около 1,0 *т*.

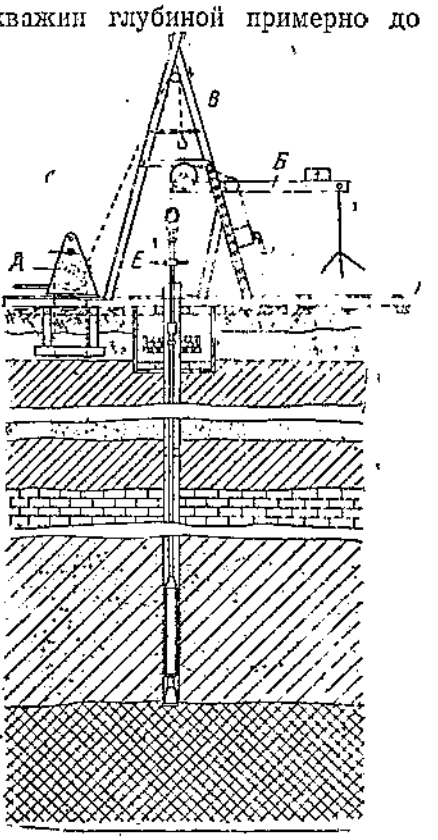


Рис. 171

Перекинутый через блок трос присоединяется к вертлюгу (рис. 172); имеющейся резьбой вертлюг ввинчивается в муфту верхней рабочей штанги; к нижней рабочей штанге присоединяется ударная, и в нее ввинчивается долото.

До начала буровых работ устраивается приямок. Со дна последнего производится забуривание сква-

жины вращательным способом при помощи буровой ложки на штанге, на которую на высоте 1,0—1,5 *м* ставится шарнирный хомут.

В забуренную скважину опускается долото на штангах. После закрепления троса в зажиме уравнительной рейки балансира рабочие подтягивают рычаг последнего вниз и затем отпускают его; этим достигается подъем долота на высоту порядка 0,25—0,5 *м* и сбрасывание его. Посредством шарнирного хомута рабочий, стоящий возле устья скважины, после каждого подъема долота поворачивает инструмент на 20—40° для обеспечения округлости скважины.

Для облегчения операций по спуску и подъему штанг служит фарштуль.

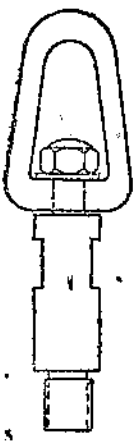


Рис. 172

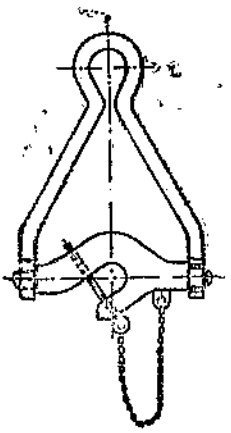


Рис. 173

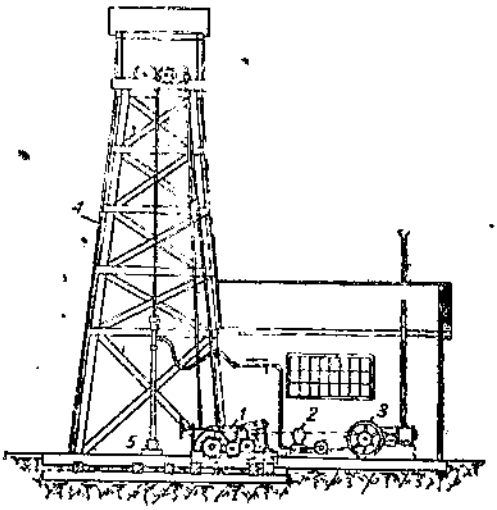


Рис. 174

Он представляет собой (рис. 173) серьгу, надетую ушками на цапфы массивной перемычки; последняя имеет в средней части вырез, в который может свободно заводиться штанга. По обе стороны выреза в перемычке сделаны отверстия, куда вставляется шпилька. Заведенная в вырез штанга может скользить в нем и своей муфтой садиться на край его, при этом шпилька предохраняет ее от выскальзывания.

Через каждые примерно 0,3—0,5 *м* проходки скважины производят удаление разрушенной породы желонкой; тогда долото со штангами извлекают на поверхность земли лебедкой (освободив предварительно трос от зажима уравнительной рейки), после чего в скважину опускают на тросе желонку при помощи балансира или непосредственно с барабана лебедки.

Опустив желонку несколько раз, наполняют ее разрушенной породой и, подняв на дневную поверхность, опоражнивают. Желонку применяют не только для очистки скважины, но и для проходки таких пород, как сухие пески и плывуны; в последнем случае она играет также роль рабочего наконечника.

Штанговое бурение глубоких скважин (машинное)

На рис. 174 показана общая схема установки для машинного штангового бурения при помощи бурового станка *1*. Последний устанавливается в откосе буровой вышки *4* (металлической — разборной или деревянной, устраиваемой на месте), которая делается высотой 15—20 *м*. При станке имеется двигатель *3*.

Характер работ — тот же, что и при бурении неглубоких скважин; вместо балансира ручного действия здесь имеется балансирный механизм станка. Число ударов долота в минуту около 40—80 при высоте подъема его до 0,5—0,75 *м*.

При бурении с промывкой вблизи станка устанавливается насос *2* (рис. 174). Число ударов доводят до 120—150 в минуту при высоте подъема долота около 120—180 *мм*. При этом происходит дробление горной породы на сравнительно малые частицы, что облегчает вынос их на поверхность земли промывочной жидкостью.

При сколько-нибудь глубоком бурении нередки случаи поломки штанг вследствие продольного изгиба при ударах, что составляет существенный недостаток этого способа бурения. Для предупреждения поломок применяют особый прибор — ножницы (ясы).

Для ловли оборвавшихся штанг применяют следующий ловильный инструмент.

Колокол (рис. 175) представляет собой толстостенный цилиндр с длинной внутренней конической резьбой на нижнем конце; по резьбе профрезерованы три продольных канальца.

Опущенным в скважину на штангах колоколом нащупывают конец оборвавшихся штанг и навинчивают на этот конец колокол, что позволяет извлекать штанги и висящий на них буровой инструмент на поверхность земли. Чтобы облегчить нащупывание штанг, особенно при больших диаметрах обсадных труб, колокол иногда снабжают внизу направляющей воронкой. Если на конце оборвавшихся (разъединившихся) штанг осталась муфта, то предпочитают пользоваться метчиком.

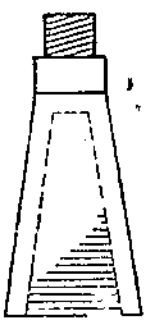


Рис. 175

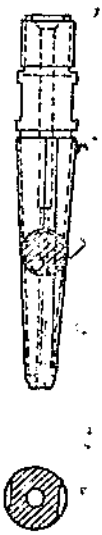


Рис. 176

Метчик (рис. 176) состоит из конуса с ловильной винтовой резьбой; по поверхности конуса профрезерованы три продольных канальца. Метчик опускают в скважину и ввинчивают в муфту ловильных штанг; отмеченные канальцы облегчают это ввинчивание. Как и колокол, метчик снабжается иногда внизу направляющей воронкой.

Ударное канатное бурение

На рис. 177 приведена общая схема установки для канатного бурения при помощи передвижного бурового станка[1], дополнительно показанного на рис. 178.

Все механизмы станка смонтированы на сварной раме, поставленной на колесном ходу. Передний скат его имеет шарнир *1* и поворот-

[1] Сущность дела не изменится в основном и при станке стационарном; вместо мачты в этом случае устраивается буровая вышка.

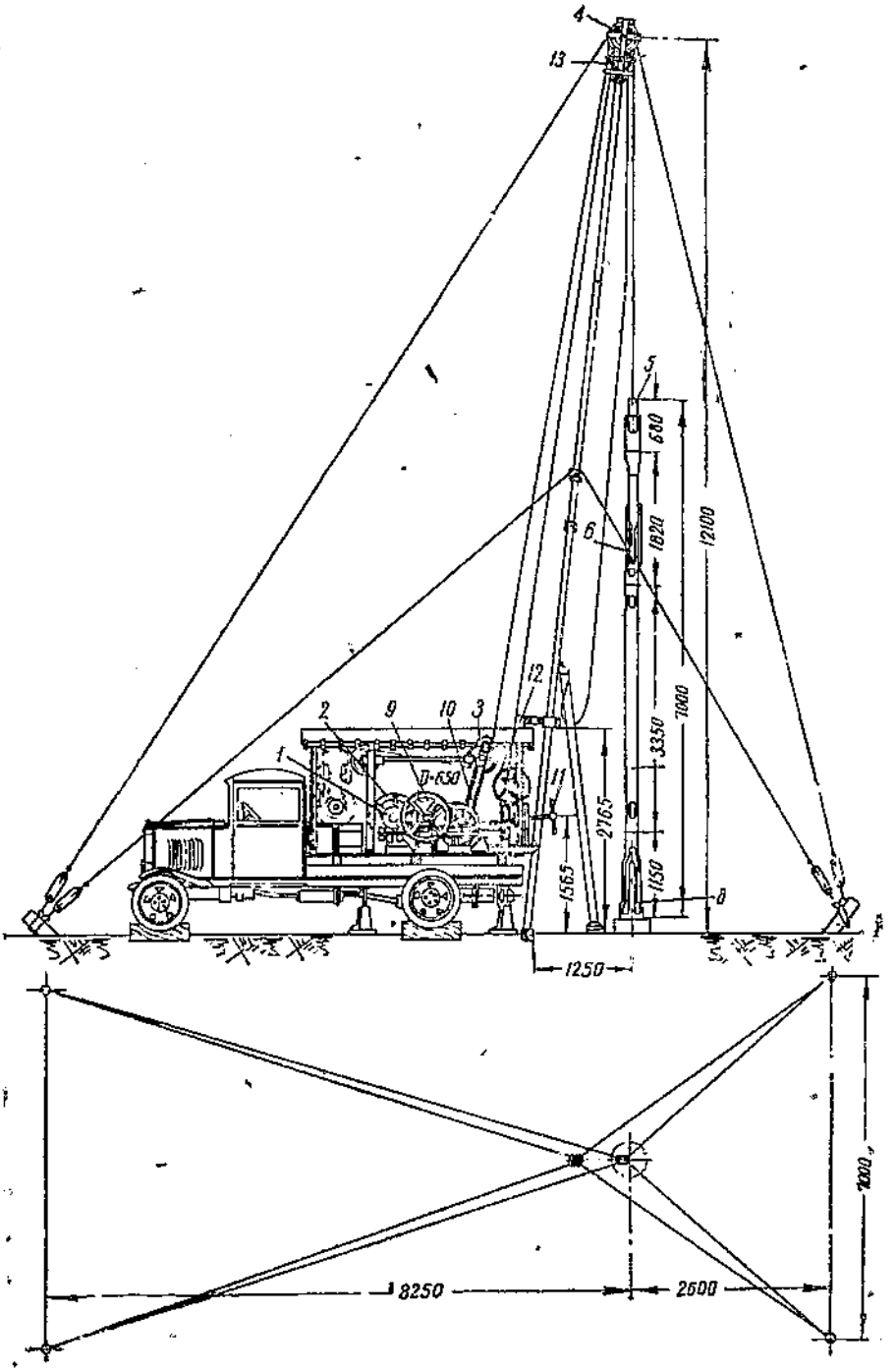

4
13
5
680
1820
12100
6
12
2
9
10
3
7000
3350
1
Д-65Д
11
2765
1565
1150
8
1250
8250
2600
1000

Рис. 177

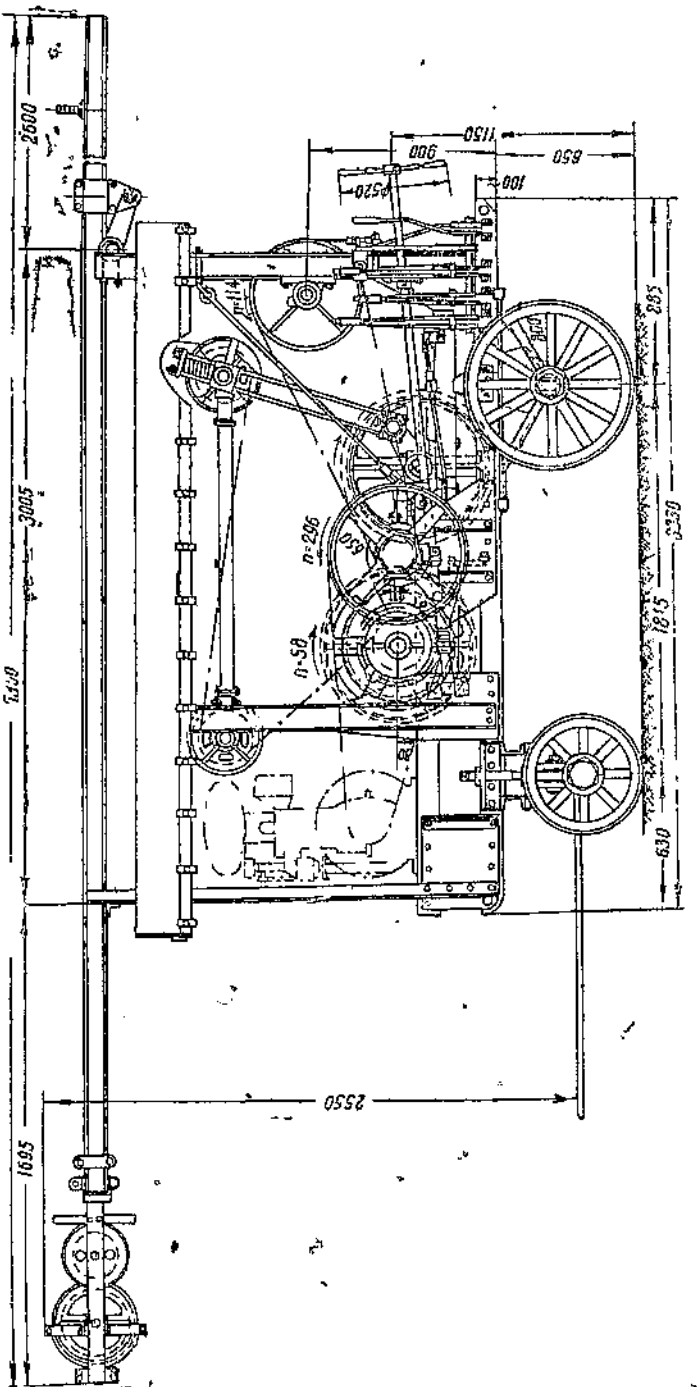

2600
3005
5450
1695
2550
1150
900
650
100
520
285
330
1815
630
D=206
D=50

Рис. 178

ный круг; задние колеса снабжены колодочными тормозами, а передние — специальными стопорами, которые придают станку устойчивость при работах.

Основными узлами станка являются:

1) главный вал *9* со шкивом, приводящий в движение механизмы станка; сам вал приводится в действие от какого-либо двигателя посредством той или иной передачи;

2) инструментальный вал *10* с барабаном для операций по подъему и спуску инструментов;

3) желоночный вал *12* с барабаном для операций, проводимых желонкой;

4) ударный вал с шатунами для работы долотом;

5) балансир с роликами: оттяжным и направляющим;

6) приспособления для управления механизмами станка в виде тяг, рычагов, штурвала *11* и пр.;

7) мачта, заменяющая собой буровую вышку, обычно металлическая высотой 8,5—12,0 *м*; при работе станка мачта раскрепляется канатными растяжками; при передвижении станка она укладывается на стойки его рамы. Подъем и спуск мачты производятся при помощи инструментального вала или же специальными талями; на мачте два ролика: верхний и нижний.

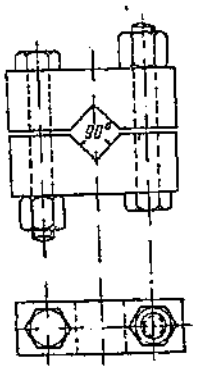


Рис. 179

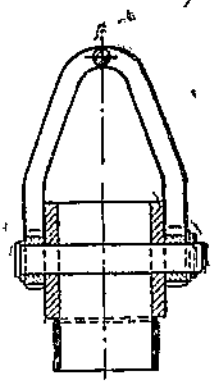


Рис. 180

Основным рабочим наконечником является долото, тип которого выбирается в зависимости от характера проходимых горных пород.

Долото и другие инструменты для разрушения горной породы закрепляются посредством замка на конце каната, который перекинут через верхний ролик мачты и другим своим концом закреплен на барабане инструментального вала.

Для соединения инструментов с канатом служит канатный замок — ронсокет (рис. 154). Подъем и сбрасывание долота производятся, как уже было отмечено, ударным валом, который, вращаясь по часовой стрелке, при помощи шатунов приводит в качательное движение балансир. Число ударов долотом в минуту — порядка 50—60 при высоте подъема над забоем около 0,4—0,6 *м*.

При каждом падении долота при проходке мягкой породы происходит его увязание в породе. Для предупреждения этого применяют особый инструмент — ножницы (ясы), которые и производят выбивание долота из забоя.

По мере углубления скважины канат удлиняют, поворачивая штурвал [1]. Поворачивания долота достигают при помощи особых инструментов — самовращающегося канатного замка или уравнительного винта (рис. 155).

Разрушенная порода через каждые 0,25—0,5 *м* удаляется из скважины желонкой, которая подается на забой и поднимается канатом, идущим на барабан желоночного вала *12*.

Крепление стенок скважины производят путем установки обсадных труб, забиваемых массивной ударной бабкой (рис. 179); при этом в муфту верхней обсадной трубы для предохранения ее от смятия ввинчивается так называемая забивная головка (рис. 180).

[1] При поворачивании штурвала его червяк через червячную шестерню инструментального вала вращает барабан и разматывает канат.

Встречающиеся плывуны проходят возможно быстрее, производя бурение желонкой и не прерывая работ[1].

Показанный на рис. 178 станок относится к типу прицепных, которые перевозятся при помощи различных тягачей. Кроме того, бывают станки самоходные — на простом, тусеничном, тракторном ходу; имеются и станки, смонтированные на автомашинах.

Скорость бурения — порядка 0,3—1,0 *м/час*, а при малых диаметрах скважин, небольших глубинах и породах не очень твердых — даже больше.

Как и при штанговом бурении, в случаях аварий при канатном бурении приходится ловить оставшийся в скважине инструмент. Прежде всего отметим применяющиеся для этой цели шлипсы.

Шлипс для ловли инструментов за канатный замок представляет собой цилиндр (рис. 181), имеющий внизу конусную расточку. Внутри цилиндра помещается вилкообразная пружина с зубчатыми плашками. Последние своей наружной поверхностью входят в конусную расточку и захватывают инструмент. При обсадных трубах большого диаметра на нижний конец шлипса навертывают воронку.

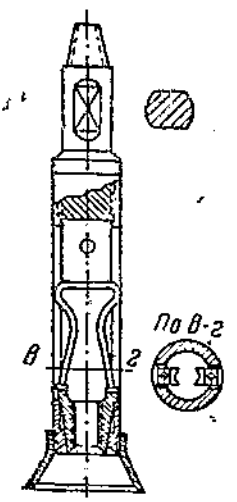


Рис. 181

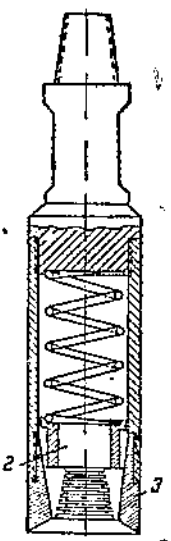


Рис. 182

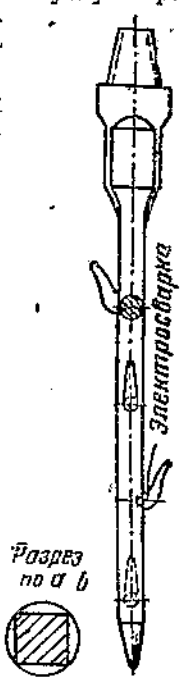


Рис. 183

Шлипс для ловли за резьбу (рис. 182) отличается тем, что внутри него помещена спиральная пружина, опирающаяся нижним своим концом на кольцо *2*, которое нажимает на зубчатые плашки *3*. Перед спуском в скважину плашки приподнимают и раскрепляют деревянными подкладками так, чтобы между плашками мог проходить конец ловильного инструмента. После опускания подкладки выскакивают, и плашки, опускаясь под действием собственного веса, захватывают резьбу инструмента. При натяжении каната плашки сильнее зажимают инструмент, и он извлекается на поверхность земли. Применяя плашки соответствующих размеров, можно ловить шлипсом детали с резьбой разной формы и величины.

[1] Иначе возможно образование песчаных пробок в обсадных трубах или поднятие в них плывуна. Обсадные трубы постоянно осаживают, например, путем их вращения с усиленным надавливанием сверху. Полезно бывает подливать в скважину воду или жидкий раствор глины, чем создается противодавление, уменьшающее приток плывуна.

Для ловли оборвавшегося каната применяют ерши.

Однорогий ерш (рис. 183) представляет собой заостренный внизу стержень, на котором по винтовой линии приварены когти. Такой ерш применяется для ловли каната, который лежит плотным клубком; если же канат находится в спиральном положении, то пользуются двурогим ершом.

Двурогий ерш (рис. 184) представляет собой вилку, с внутренней стороны которой приварены по винтовой линии когти.

Для перерезания в скважине стального каната применяется канаторезка или иначе канатный резак (рис. 185) с ножницами. Последние состоят из двух звеньев — верхнего и нижнего, соединенных между собой наподобие звеньев обыкновенной цепи. Верхнее звено имеет

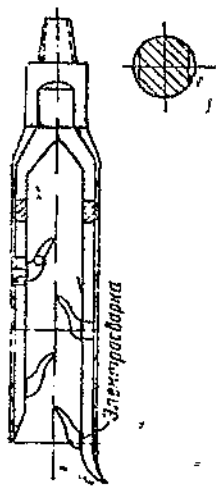


Рис. 184

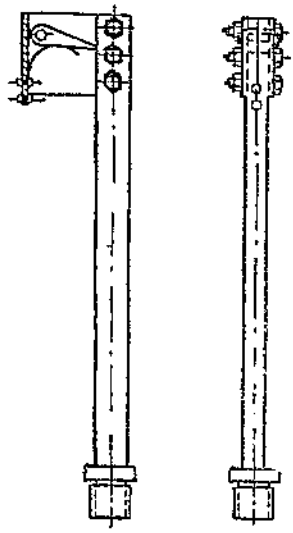


Рис. 185

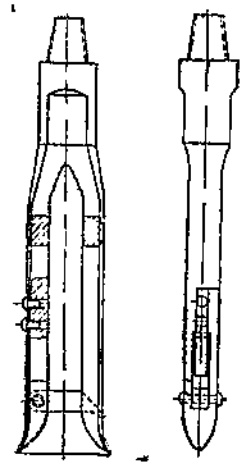


Рис. 186

ушко для прикрепления каната, нижнее — внутреннюю коническую нарезку для соединения с канаторезкой. Инструмент опускается в скважину так, чтобы канат проходил между стержнем и резцом, причем последний скользит вверх и не впивается в канат; при подъеме же инструмента резец впивается в канат и перерезает его.

Для извлечения желонок применяется вилка с защелкой (рис. 186). В нижней своей части вилка снабжена шарнирно укрепленной защелкой; для отбоя последней имеется пружина. При опускании вилки в скважину защелка под нажимом встретившейся желонки пропускает дужку ее, а затем падает; при подъеме вилки желонка оказывается подвешенной своей дужкой на защелке.

Глубокое вращательное бурение

Роторное бурение. Общая схема установки для бурения показана на рис. 187. Рабочий наконечник в виде долота *д* особого типа присоединяется через так называемый удлинитель к колонне бурильных труб *т*. На верхнюю бурильную трубу навертывается рабочая труба *Р* в виде специальной трубчатой штанги, которая проходит через отверстие в роторе *R* бурового станка и зажимается в нем. К верхнему концу рабочей трубы присоединяется вертлюг *В*, при помощи которого буровой инструмент подвешивается к крюку *К* талевого блока.

От двигателя (не показанного на схеме) может приводиться во вращение ротор, а с ним бурильные трубы и долото; тогда последнее внедряется в горную породу, разрушает ее и постепенно опускается; одновременно опускается и рабочая труба. Когда последняя уйдет в

скважину почти на всю свою длину, ее отвинчивают от колонны бурильных труб, навертывают на колонну еще одну-две бурильные трубы, снова присоединяют рабочую трубу, зажимают ее в роторе и продолжают бурение, причем все эти операции ведутся при помощи лебедки *Л*.

Частицы разрушенной породы выносятся на поверхность земли глинистым раствором, который поршневым насосом *Н* через гибкий

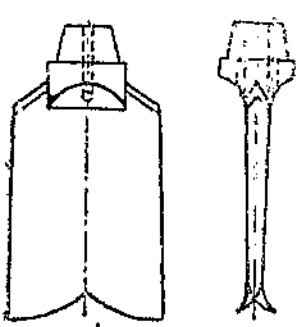


Рис. 188

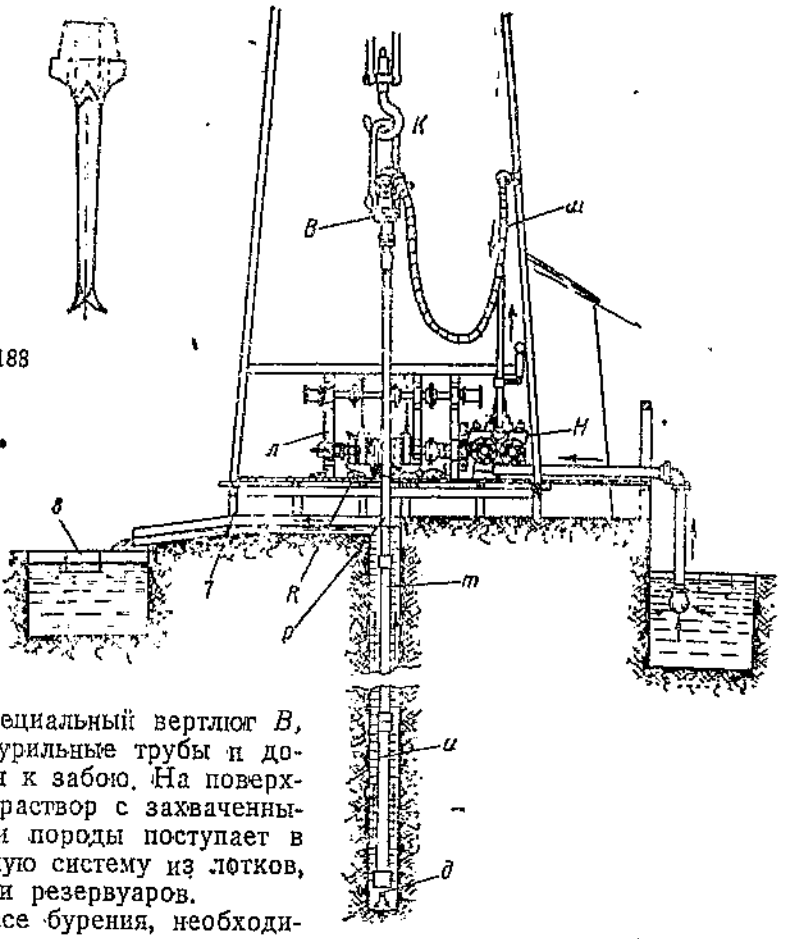


Рис. 187

шланг *Ш*, специальный вертлюг *В*, рабочую и бурильные трубы и долото подается к забою. На поверхности земли раствор с захваченными частицами породы поступает в циркуляционную систему из лотков, отстойников и резервуаров.

В процессе бурения, необходимо обеспечивать соответствующее давление долота на забой, которое надлежит изменять в зависимости от характера проходимых пород, типа долота и веса буровых инструментов. Поддержание требуемого давления осуществляется при помощи тех или иных приспособлений в зависимости от типа и конструкции станка.

Долотья. При роторном бурении применяются долотья различных типов; из них наибольшее распространение имеют долотья «рыбий хвост» — РХ — и шарошечные.

Долото РХ обычного типа представляет собой стальную лопасть (рис. 188), нижняя часть которой заострена и раздвоена, причем обе половины отогнуты (каждая в сторону вращения). Верх лопасти переходит в цилиндрическую шейку с конической головкой. Через шейку засверлены канальцы для пропуска глинистого раствора, выходящие на обе стороны лопасти; для лучшего подведения раствора к лезвию и забою на лопасть навариваются иногда трубки.

Рабочие поверхности долота армируются твердыми сплавами («победит» и др.), что обеспечивает значительное повышение[1] стойкости их против износа; самое армирование ведется наваркой или напайкой.

Долото присоединяется к бурильным трубам через удлинитель (на рис. 187 обозначен через *И*), представляющий собой толстостенную трубу и предназначенный для усиления нижней части бурового инструмента и облегчения ловильных работ при обрыве бурильной колонны.

Между долотом и удлинителем включается иногда особый инструмент — риммер, служащий для округления стенок скважины и для лучшей центрировки долота.

Долото РХ, будучи режущим наконечником, признается пригодным для пород мягких. Для пород твердых и средней твердости применяется долото шарошечное, в нижней части корпуса которого помещены свободно вращающиеся шарошки — конические или цилиндрические, дробящие и истирающие горную породу.

Стационарные установки для роторного бурения. Как видно из схемы на рис. 187, в состав стационарной установки для роторного бурения входят следующие части: буровой станок, двигатель, грязевой насос и пр. Отметим сущность устройства главных частей установки станка.

Станок состоит из ротора и лебедки, которая является механизмом передачи энергии к ротору и другим частям установки.

Ротор (рис. 189). На стальной станине *1* имеется кольцевой жолоб, в котором помещены стальные конические ролики *2*, являющие-

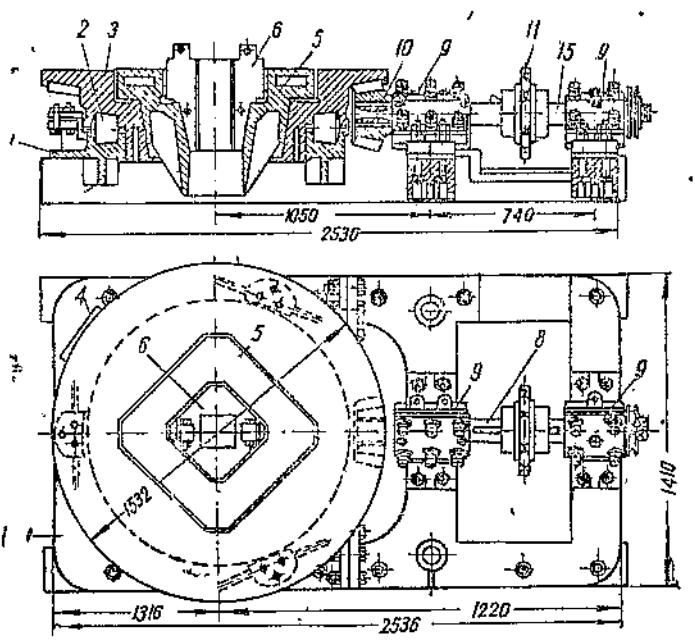


Рис. 189

ся опорными катками для вращающегося круглого стального ротора *3*. Последний имеет посредине отверстие для помещения большого вкладыша *5*, который состоит из двух половин. В отверстие этого вкладыша для вращения рабочей трубы закладываются вкладыши *6*, зажимающие трубу со всех сторон.

По окружности ротора — большая коническая шестерня.

---

[1] В десятки и сотни раз; см. Куличихин Н. И., Некоторые пути повышения производительности при бурении на воду, «Водоснабжение и санитарная техника», № 3, 1936.

Вращение самого ротора производится при помощи конической шестерни *10*, которая посажена на горизонтальный валик *8*, от так называемого трансмиссионного вала лебедки.

Лебедка (рис. 190) имеет в основном следующее устройство. На трех слегка наклонных стойках укреплены подшипники для двух горизонтальных валов, из которых верхний *М* является трансмиссионным, а нижний *Б* — барабанным.

На трансмиссионном валу насажены четыре зубчатки; из них *Д*—служит для привода в действие самой лебедки от двигателя установки, *R*—для предачи энергии к ротору, $б_1$ и $б_2$—для привода барабанного вала; кроме того, на концах трансмиссионного вала посажены катушки *К* для наматывания каната, при помощи которого производятся свинчивание и развинчивание бурильных труб, поднятие и подтаскивание тяжестей.

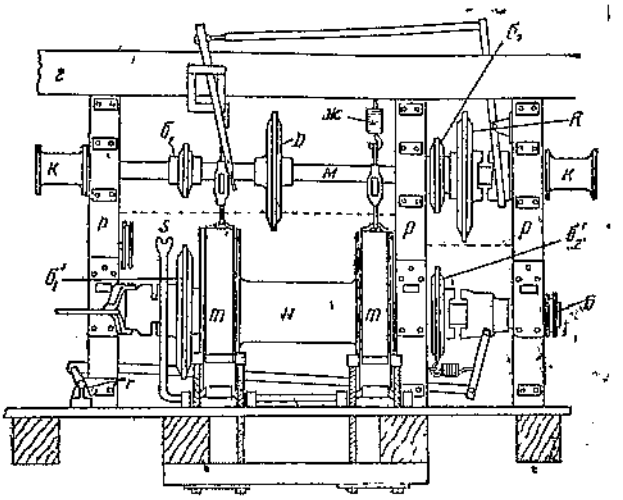


Рис. 190

Барабанный вал имеет зубчатки $б'_1$ и $б'_2$ и тормозные шайбы *m*; на последние надеты стальные тормозные ленты; во избежание обжатия шайб при операциях, не требующих торможения, ленты оттягиваются пружинами *Ж*, прикрепленными к горизонтальному брусу *г*, который связывает верхние концы стоек лебедки.

Подвижные агрегаты для роторного бурения. Каждый агрегат состоит частично из двух автомашин или тележек, на которых смонтированы основные механизмы. Тележки изготовляются на колесных или гусеничных ходах; иногда вместо тележек применяются автомобильные шасси. Вспомогательное оборудование, трубы, запасы глины и пр. перевозятся на дополнительных автомашинах.

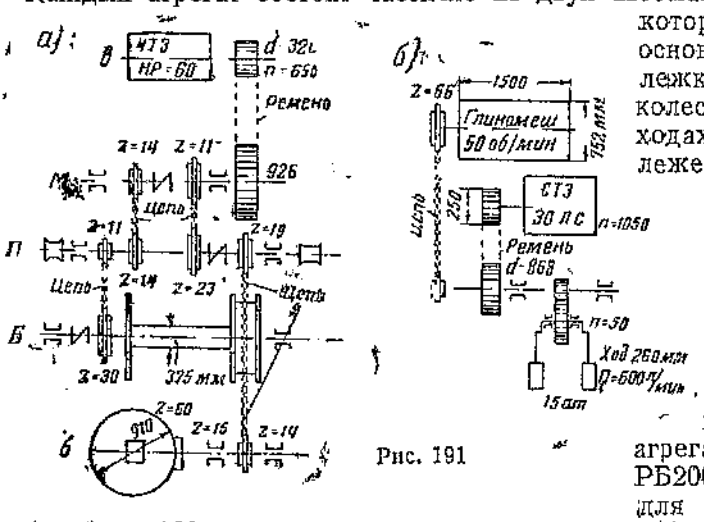


Рис. 191

Как пример сравнительно большого агрегата отметим агрегат РБ200, предназначенный для бурения скважин глубиной до 200 *м* с диаметром обсадных труб 12—8″ при технической скорости проходки в 40 *м* за сутки [1].

В состав агрегата входят в основном два прицепа (рис. 191, *а* и *б*).

[1] В действительности указанные цифры перекрыты: стахановцы бурильщики давали проходку 22 *м* и более в смену, глубина же скважин в мягких породах доходила до 350 *м* и даже более.

На прицепе № 1 смонтированы: 1) ротор диаметром 910 *мм* с числом оборотов 35 и 75 в минуту, 2) двигатель мощностью 60 *л. с.* (ЧТЗ), 3) лебедка, имеющая три вала: *Б* — барабанный, *М* — трансмиссионный, *П* — промежуточный. Общий вес прицепа (без цепей) около 6,5 *т*; габариты: 4,85 *м* — длина; 2,49 *м* — ширина, 2,9 *м* — высота.

На прицепе № 2 смонтированы: 1) горизонтальная глиномешалка с емкостью 0,7 $м^3$ и числом оборотов 50 в минуту, 2) двигатель мощностью 30 *л. с.* (СТЗ), 3) грязевой насос — поршневой двухцилиндровый, производительностью 600 *л/мин* при числе оборотов 50 в минуту с давлением до 15 *ат*.

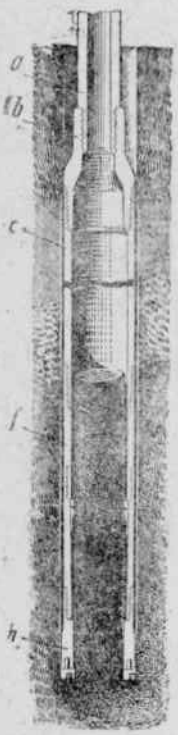


Рис. 192

Общий вес тележки около 4,7 *т*, габариты: 5,3 *м* — длина, 2,13 *м* — ширина, 2,15 *м* — высота.

Буровая вышка — металлическая, сборно-разборной конструкции, высотой 16 *м* и грузоподъемностью 16 *т*.

Роторное бурение дает возможность иметь значительные скорости проходки — до 100—150 *м* в сутки и более. Однако при большой глубине скважин нередки случаи искривления их; кроме того, на вращение длинной колонны бурильных труб приходится затрачивать много энергии [1].

Колонковое бурение. Рабочим наконечником в данном случае является так называемая коронка, в нижний торец которой вставлены и там закреплены резцы из твердых сплавов [2] («победит» и др.). При этом резцы несколько (на 0,5—1,0 *мм*) выступают за грани коронки, внутрь ее и наружу.

Коронка *h* (рис. 192) присоединяется к трубе *C*, которая в свою очередь через переходник *в* соединяется с бурильными трубами *а*. Верх бурильной колонны закрепляется в шпинделе станка стационарного (рис. 193 и 194) или передвижного типа (рис. 195); при этом диаметр шпинделя точно соответствует диаметру бурильных труб.

При вращении коронки она выбуривает в горной породе кольцевой канал, внутри же нее оказывается нетронутый цилиндрический столбик породы, называемый керном; последний по мере углубления скважины входит в трубу *C*. После того как она заполняется керном, его отрывают от забоя и весь буровой инструмент лебедкой поднимают к поверхности земли; здесь отвертывают коронку, извлекают керн из трубы, вновь ввертывают коронку, опускают в скважину и продолжают бурение.

Для отрыва и захвата керна между коронкой и трубой помещают кернователь *f* (рис. 192); он представляет собой по существу пружинное кольцо, которое в процессе бурения не препятствует поступлению керна в колонковую трубу, а при подъеме бурового снаряда захватывает керн и отрывает его.

Бурение ведется с промывкой, при которой мелкие частицы разрушенной породы (шлам) выносятся к поверхности земли. Одновременно

[1] Этих недостатков не имеет турбинное бурение, не нашедшее пока еще распространения в деле водоснабжения. Сущность этого способа бурения заключается в следующем. Долото при помощи короткого шпинделя соединяется с гидравлической турбиной, которая в свою очередь присоединяется к бурильным трубам. Поним грязевым насосом подается глинистый раствор, который в данном случае служит не только для промывки забоя, но и для вращения турбины с долотом. Колонна бурильных труб на поверхности земли соединяется с рабочей квадратной штангой, которая зажимается особым хомутом.

[2] Очень редко — резцы из алмазов. Вместо коронок с резцами из сплавов или алмазов в очень редких случаях применяют коронки, под торец которых подается специальная дробь (дробовое бурение).

с вращением коронки на забой скважины следует оказывать давление, соответствующее характеру проходимой породы и пр. При станках разных конструкций регулирование давления производится различно. В установках по рис. 193 и 195 оно достигается при помощи рычажного устройства; наряду с этим имеются станки с гидравлическими регуляторами давления и др.

Рис. 193

Бурение в вечной мерзлоте применяют ударного типа с некоторыми особенностями. В частности, в данном случае осуществляют подлив горячей воды небольшими порциями, часто удаляя остывшую воду. Подлив излишнего количества воды может вызвать образование ледяных пробок над долотом, нарастание на нем льда, сужение отверстия скважины. Поэтому горячую воду подливают в количестве 12—25 *л* на 1 *м* проходки, причем через каждые 30—40 *см* извлекают желонкой остывшую воду с частицами разрушенной породы. Подлив горячей воды особенно важен зимой; в летнее время буровой инструмент имеет температуру воздуха до 20° и более, и это облегчает производство работ по бурению.

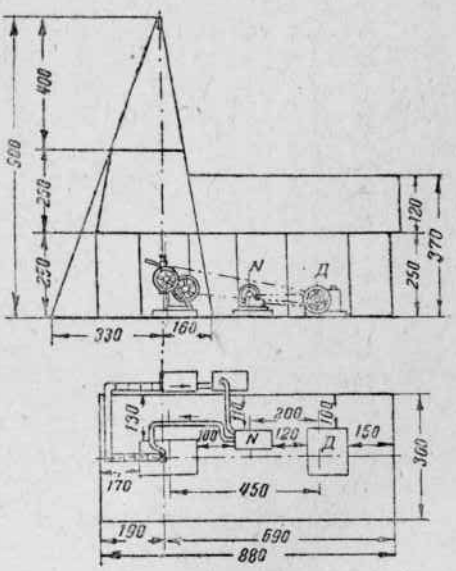


Рис. 194

Пройдя толщу вечной мерзлоты, ведут крепление стенок скважины обсадными трубами. Установка последних обычно не вызывает затруднений, иногда же (зимой) оказывается необходимым нагревать опускаемые трубы.

Скорости бурения весьма различны; иногда они выражаются в 2,0—3,0 *м* за смену, иногда — гораздо меньше.

§ 54. Фильтры трубчатых колодцев

В зависимости от гидрогеологических условий и специальных требований фильтры могут быть: дырчатые, сетчатые и гравийные. Кроме того, в ряде случаев применяются специальные конструкции фильтров, к которым относятся проволочные, корзинчатые и фильтры, основанные на принципе малых скоростей.

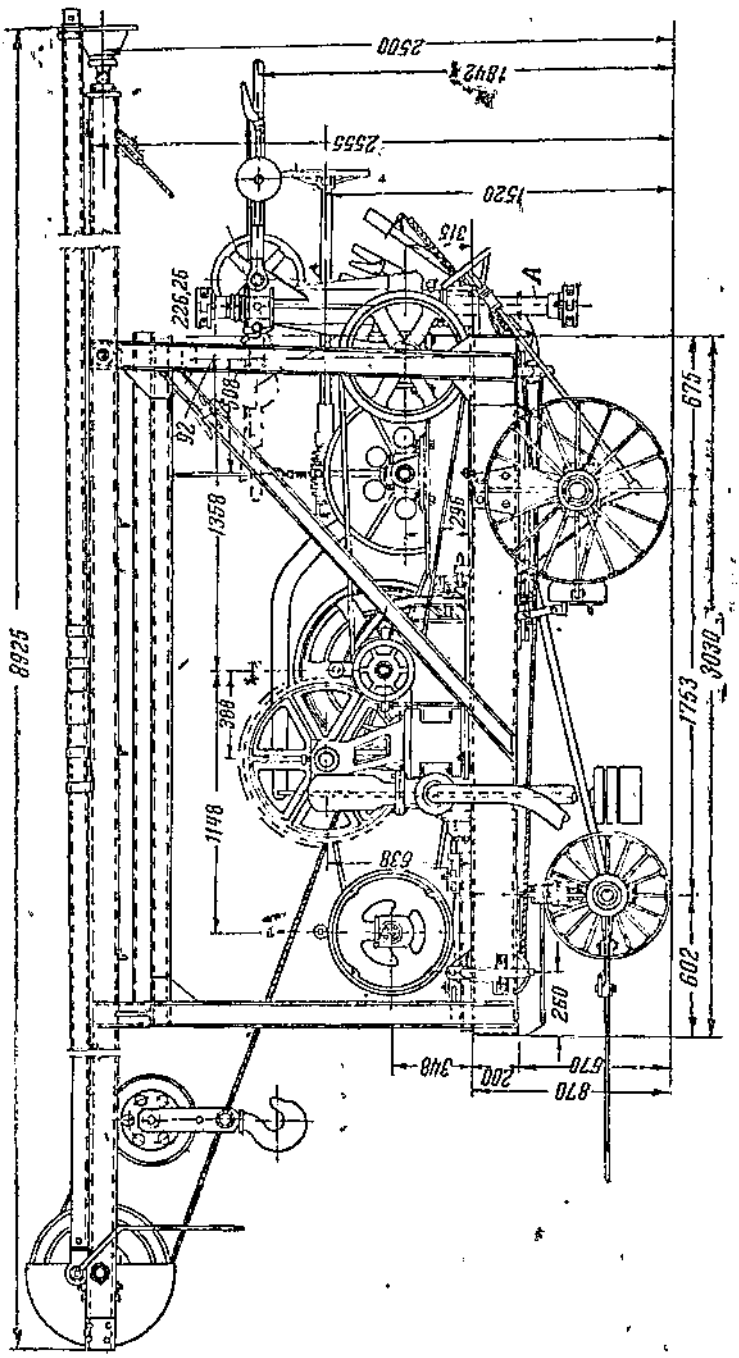

2500
1892
2555
1520
315
226,26
A
92
308
1358
296
675
8925
8030
1753
368
1198
638
602
260
348
200
570
870

Рис. 195

а) Сетчатые фильтры. Каждый фильтр (рис. 196) состоит из дырчатой части, силоса и холостой части; верх последней нередко имеет два выреза, располагаемые один против другого, — по виду опрокинутой буквы Г; вырезы эти предусматриваются для облегчения опускания фильтра в скважину, как об этом сказано ниже.

Дырчатые трубы бывают с круглыми или прямоугольными отверстиями. Часто эти трубы изготовляются из обычных обсадных труб; тогда отверстия делаются круглыми путем сверловки на станке, а в простейших случаях вручную. Диаметр отверстий — в пределах 10—25 *мм*, и размещаются они в шахматном порядке на взаимных расстояниях a и b между центрами. Если обозначить через d — диаметр отверстий, то отношение площади всех отверстий к боковой поверхности трубы, т. е. $(\pi d^2) : (4\ ab)$, определяет так называемую скваженность фильтра. Чем больше последняя, тем лучше, так как уменьшается скорость поступления подземной воды в колодец. Однако при круглых отверстиях не удается обеспечить скваженность более 0,25—0,30.

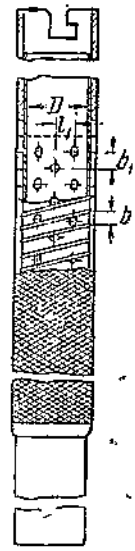


Рис. 196

Большую скваженность имеют фильтры, изготовляемые из стальных листов, с прямоугольными отверстиями. Отверстия в этом случае получаются путем штамповки; при этом доводят скваженность до 0,4—0,45.

Сетки изготовляются из проволок толщиной 0,25 — 0,80 *мм* и даже более (1—2 *мм*). По материалу они чаще бывают медными, реже латунными и из нержавеющей стали; хороши сетки из фосфористой бронзы. По характеру плетения различаются сетки трех сортов: простые, киперные и галунные.

Простая сетка (рис. 197) квадратного плетения состоит из пересекающихся под прямым углом проволок. Размерность сетки обозначается номером, который указывает число проволок, приходящихся на каждые 25 *мм*.

Если номер сетки обозначить через A, толщину проволок через b *мм*, то линейный размер отверстий a *мм* определяется из выражения:

$$a = \frac{25 - Ab}{A}.$$

Киперная сетка (рис. 198) отличается от простой тем, что здесь каждая проволока огибает сразу две проволоки другого направления.

Галунная сетка, применяемая очень часто, показана на рис. 199; между проволоками основы протянуты тесно прижатые друг к другу

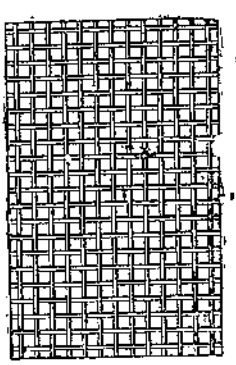


Рис. 197

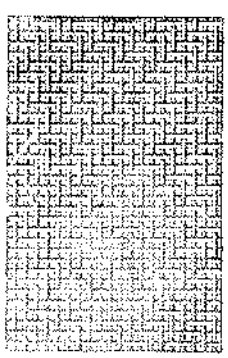


Рис. 198

Рис. 199

проволоки утка. Размерность галунной сетки обозначается двойным номером в виде дроби, числитель которой указывает количество проволок основы, а знаменатель — количество проволок утка на 25 *мм*.

Для выбора в каждом отдельном случае рационального номера сетки берут пробы водоносной породы, просеивают их через сетки различных номеров и принимают сетку такого номера, которая пропускает 60—80%, считая от веса пробы.

Просеивание необходимо вести очень тщательно, чтобы через испытуемые сетки могли проходить также песчинки продолговатой формы. Результаты просеивания целесообразно изображать графически, откладывая по оси абсцисс линейные размеры отверстий сетки, а по оси ординат — весовые количества песчинок, прошедших через отверстия, в процентах от количества просеянной породы. На рис. 200 приведен пример подобного графика для случая, когда песок содержал значительное количество зерен 0,5—0,7 *мм*, что хорошо видно из круто поднимающейся вверх кривой; выбрана была сетка, которая имела отверстия 0,4 *мм*.

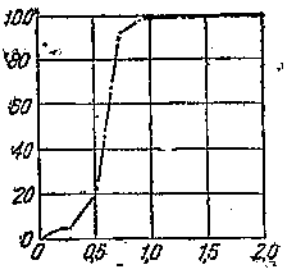


Рис. 200

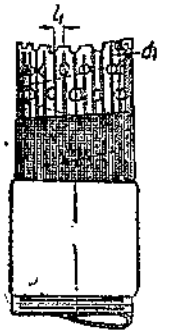


Рис. 201

Сетка накладывается не непосредственно на дырчатую трубу, а на каркас, предварительно укрепленный на этой трубе. Каркас устраивается различно. Иногда (рис. 201) по образующим дырчатой трубы укладываются оцинкованные проволоки толщиной 3—6 *мм* на взаимных расстояниях 10—25 *мм* и припаиваются по концам, а также примерно через каждые 250 *мм*. Нередко каркас делают в виде спиральной обмотки (см. выше рис. 196) медной проволокой 2—6 *мм* с шагом около 50 *мм*. В качестве каркаса может с успехом применяться крупная медная сетка простого плетения с просветами порядка 50 × 50 *мм*.

Каркас имеет большое значение для фильтра, так как отодвинутая благодаря нему от стенок трубы сетка работает почти всей своей площадью.

Расчет диаметра фильтра ведут по формуле:

$$D_ф = q_{max} : (\pi l v_ф),$$

где $D_ф$ — наружный диаметр фильтра;

l — его рабочая длина;

q_{max} — наибольшее количество воды, подлежащее откачке из колодца;

$v_ф$ — допустимая скорость поступления воды через фильтр (наибольшая).

Численные значения $v_ф$ берут в зависимости от характера песка по табл. 25.

Таблица 25

Содержание в песке водоносного слоя	$v_ф$ *мм/сек*
60% зерен диаметром менее 1 *мм*	2
40% " " " 0,5 *мм*	1
40% " " " 0,25 *мм*	0,5

Иногда определяют $D_ф$ по допускаемым скоростям движения воды в водоносной породе, т. е.

$$D_ф = q_{max} : (\pi l \varphi \alpha v_и),$$

где q_{max} и l — имеют ранее указанные значения;

φ — пористость водоносной породы;

$v_и$ — скорость движения воды в водоносной породе, при которой начинается вымывание частиц породы;

α — коэфициент уменьшения для $v_и$, принимаемый в пределах 0,5—0,25.

Установка фильтра в скважине. Очень часто опускание фильтра в скважину производят при помощи штанг, к низу которых привертывают спусковой ключ с двумя лапками. Последние по своим размерам должны точно соответствовать вырезам в верхнем конце холостой части фильтра, показанным выше на рис. 196, и заводиться в них. Предварительно вокруг холостой части фильтра накладывается сальник из расчесанной пеньки с таким расчетом, чтобы фильтр входил в обсадные трубы под некоторым усилием; после установки фильтра и подтягивания обсадных труб выводят ключ из вырезов путем поворота штанг и поднимают его вместе с ними на поверхность земли [1].

Кроме пеньковых сальников встречаются и сальники других типов. Из них большое распространение имеет следующий: на верхнем конце фильтра делают удлиненную резьбу, на которую навертывают сначала фланец, на него накладывают несколько кожаных [2] и металлических колец поочередно; на эти кольца кладут другой верхний фланец без резьбы и, наконец, ставят муфту, слабо ее ввертывая. После установки фильтра на место и подъема обсадных труб муфту плотно подвертывают, тогда указанные части сальника уплотняются, и кожаные кольца хорошо прилегают к стенкам обсадных труб.

Сетчатым фильтрам присущи недостатки, из которых отметим следующие:

1. При очень мелких песках, а также при наличии в водоносном слое большого количества глинистых и илистых частиц происходит закупорка сетки; то же имеет место в случаях содержания в воде солей железа, которые, окисляясь, выпадают в виде хлопьев на сетке, а также в случаях присутствия растворенных карбонатов, которые, образуя известь, закупоривают сетку.

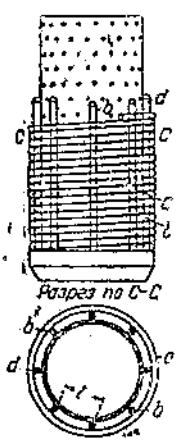


Рис. 202

2. Быстрое (иногда через 2—3 года, а то и быстрее) разрушение медных сеток при наличии в воде сероводорода и других агрессивно действующих примесей; этот недостаток можно изжить применением сеток из нержавеющей стали; в США пользуются иногда сетками из специальных некоррозийных сплавов.

3. Значительное сопротивление при проходе воды через сетку.

б) Проволочные фильтры. На рис. 202 и 203 показан проволочный фильтр. По поверхности дырчатой трубы укладывают продольные оцинкованные проволоки диаметром 3—6 *мм* на взаимных расстояниях около 50 *мм*; поверх их делают обмотку из оцинкованных проволок диаметром 3 *мм* впритык

Рис. 203

[1] Опускание фильтра производят иногда при помощи не штанг, а спусковых труб; последние соединяются тогда с фильтром относительно слабо и после установки его поворачиваются, отвертываются от фильтра и поднимаются на поверхность земли.

[2] Или резиновых.

одна к другой для получения очень малых просветов между ними. Последние нельзя практически иметь одинаковыми и достаточно точных размеров, в связи с чем конструкцию этих фильтров нельзя признать рациональной.

За границей вместо круглой проволоки применяют специально профилированную, например трапецоидального сечения (рис. 204); просветы между проволоками при этом расширяются внутрь колодца, чем до некоторой степени предупреждается закупорка фильтров.

в) Гравийные фильтры. При устройстве гравийного фильтра сначала бурится (рис. 205) скважина большего диаметра порядка 700—900 *мм* и в нее опускается плита *B*, снабженная рядом концентрических уступов. Затем опускаются и опираются на плиту: 1) колонна дырчатых труб и 2) несколько вспомогательных колонн, которые образуют кольцевые пространства *I—I*, *II—II*, *III—III*, *IV—IV*. В последние с поверхности земли засыпают чистые, хорошо промытые и отсортированные гравий и песок различной крупности, постепенно подтягивая кверху колонны труб как обсадных, так и вспомогательных. При назначении размеров такого фильтра исходят нередко из тех условий, чтобы толщина каждого слоя была не менее 100 *мм*, а диаметр зерен каждого следующего (по направлению к колодцу) слоя был в 3—4 раза больше зерен предыдущего, т. е.

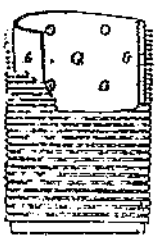


Рис. 204

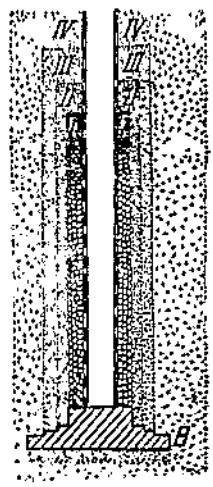


Рис. 205

$$\frac{\delta_1}{\delta_2}=\frac{\delta_2}{\delta_3}=\frac{\delta_4}{\delta_3}=3\div4.$$

Соотношение между диаметрами зерен крайнего слоя обсыпки и диаметрами зерен, которые предполагается удержать в водоносном слое, принимают равным примерно 10.

Как недостаток описанных фильтров следует отметить большую трудность обеспечивать равномерную обсыпку дырчатых труб гравием: отдельные зерна его могут неплотно прилегать друг к другу, ложиться с образованием пустот, что, понятно, нарушает правильную работу фильтра. Другой недостаток связан с необходимостью устраивать скважину большего диаметра. Последнее привело к особому типу гравийных фильтров, применяемому в США даже для очень глубоких колодцев, например 300—400 *м*. В этом случае скважина проходится трубами сравнительно малых диаметров, а в песчаном водоносном слое, в сфере устройства гравийного фильтра производится ее расширение; последнее осуществляется расширителями водоструйного действия, сопла которых выбрасывают под большим давлением струи воды, размывающие стенки скважины и расширяют ее для засыпки сюда гравия.

На рис. 206 показан гравийный фильтр подобного типа. После бурения скважины и крепления ее стенок обсадными трубами спускается фильтр в виде дырчатых труб без сетки, которые свободно пропускают песок при первоначальной откачке воды; в кольцевое пространство между обсадными и дырчатыми трубами засыпают с поверхности земли гравий. Таким путем удается заменять песок гравием на несколько метров в стороны от колодца, благодаря чему создается значительная поверхность засыпки, через которую вода проходит с весьма малыми скоростями.

Для подобных работ по откачке воды с песком с успехом могут быть использованы эрлифты, как это указано на рис. 207.

Иногда в процессе откачки нагнетают в скважину сжатый воздух, последний вытесняет воду из колодца в водоносный слой и вызывает разрыхление песка, а это ускоряет и облегчает работу.

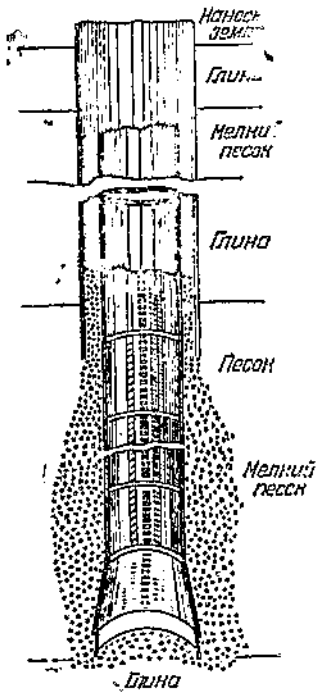


Рис. 206

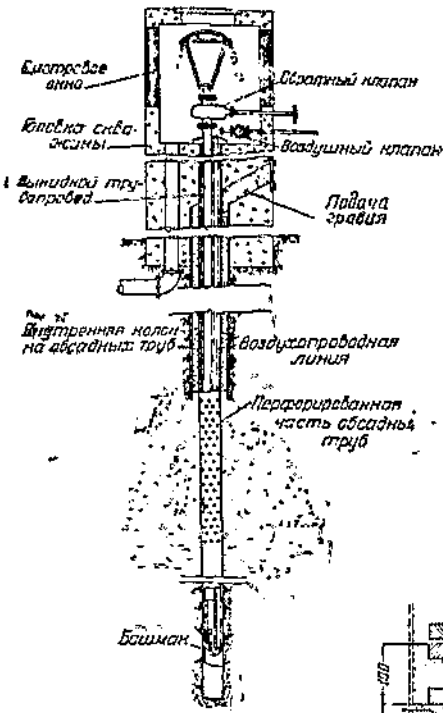


Рис. 207

Заслуживает большого внимания гравийный фильтр карманчатого типа, называемый нередко корзинчатым (рис. 208). Он состоит из корзинок в виде расширяющихся кверху конусов, располо-

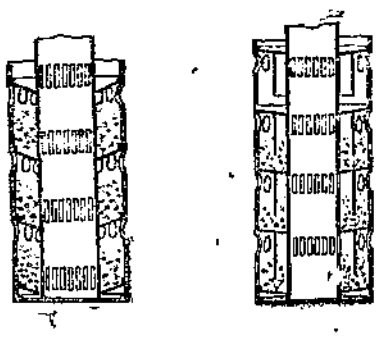


Рис. 209

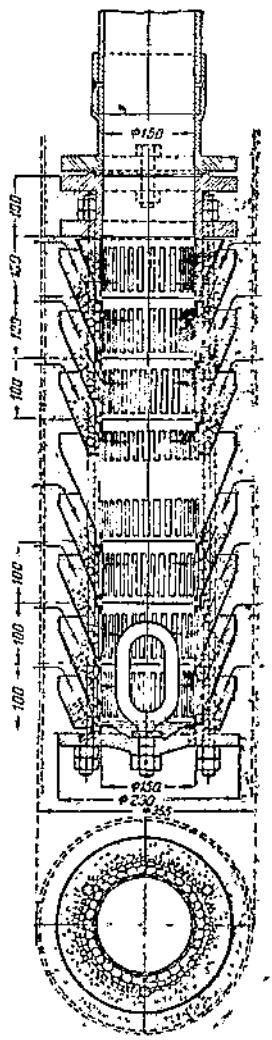


Рис. 208

жешных одна над другой. Нижняя часть имеет глухой фланец; через него пропущены стяжные болты; кроме того, здесь укреплено кольцо, за которое может зацепляться крюк троса при подъеме фильтра из колодца на поверхность земли. До опускания в колодец корзины заполняются хорошо отсортированным гравием и песком.

К этой же группе можно отнести фильтр по рис. 209,*а* и *б*. Кольцевое пространство между наружной трубой, имеющей круглые отверстия, и внутренней, которая снабжена узкими вертикальными щелями, заполняется песком, крупность которого гораздо больше (раза в 4—5), чем песок водоносного слоя. В этом же пространстве имеются горизонтальные полки и вертикальные фартуки. Благодаря этому вода проходит длинный путь в песке и, кроме того, перед входом внутрь колодца принимает вертикальное направление.

г) Фильтры специальных конструкций. Помимо рассмотренных типов фильтров существует еще не мало фильтров специальных конструкций.

Отметим прежде всего колокольный фильтр (рис. 210). Он устраивается из помещаемых одну в другую колоколообразных труб с остав-

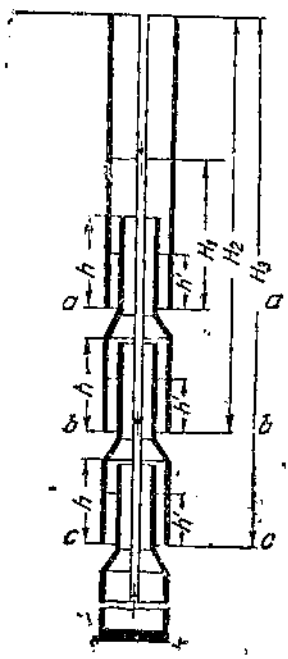


Рис. 210

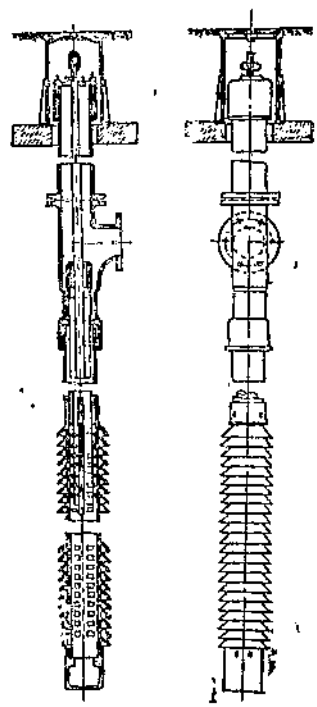


Рис. 211

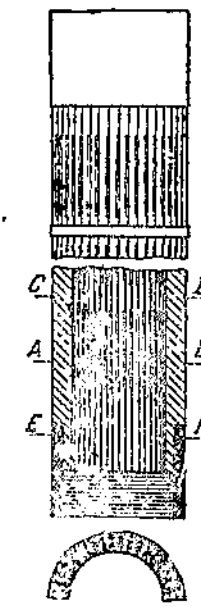


Рис. 212

лением кольцевых промежутков h. Через последние вода и поступает внутрь колодца, проходя большой вертикальный путь. Он достаточен для того, чтобы даже малые частицы песка не поднимались более чем на высоту $h' < h$ и не попадали в колодец. Нижняя труба имеет закрытое днище; остальные трубы опираются друг на друга при помощи радиальных ребер. К этой же группе может быть отнесен и фильтр по рис. 211 из металлических (чугунных) воронок, опрокинутых вниз. На рис. 212 и 213 показаны деревянные фильтры. Они уже давно применяются за границей и составляются из вертикальных деревянных брусочков — клепок с очень узкими продольными щелями между ними. Клепки изготовляются из дуба, хотя и сосна некоторыми специалистами признается подходящей. Иногда клепки делаются клиновидной формы с уширением щелей между ними внутрь колодца. Фильтр по рис. 212 состоит из отдельных звеньев длиной до 4 *м*; соединение звеньев между собой осуществляется при помощи муфт. Каждое звено имеет на одном конце металлическое кольцо с наружной нарезкой, а на другом — муфту с внутренней нарезкой. По длине звена клепки стянуты в не-

скольких местах обручами. Фильтр, показанный на рис. 213,— деревянный гравийный. Внутренний диаметр фильтра 184,2 *мм*, наружный (по клепкам) — 248,6 *мм*; число клепок по окружности — 20.

д) Безфильтровые колодцы. В скважинах, получающих воду из таких трещиноватых пород, как песчаники, граниты, известняки, мел и т. п., и имеющих вполне устойчивые стенки, фильтры, как отмечено ранее, не ставятся (рис. 214). Здесь они не только не нужны, но и вредны, так как увеличивают гидравлическое сопротивление при поступлении воды, уменьшают диаметр скважин и их дебит, могут зарастать и разрушаться при неблагоприятных качествах воды и удорожают колодцы. В последние годы начали устраивать безфильтровые колодцы и

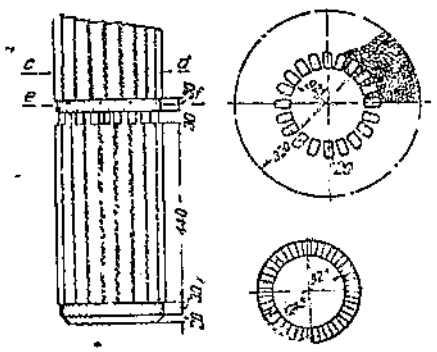


Рис. 213

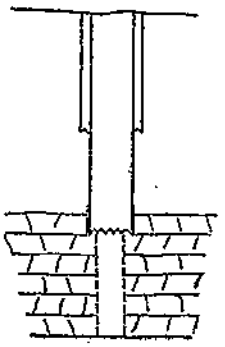


Рис. 214

в песках. При осуществлении такого колодца доводят скважину до водоносного слоя и даже несколько углубляются в него, а затем образуют под забоем искусственную воронку (рис. 215), откачивая песок с водой[1]. Выделяя на поверхности земли песок путем его осаждения, производят замер количества вынесенного песка и по нему судят об объеме полученной воронки, глубина же воронки может быть замерена достаточно точно. В устраивавшихся до сего времени скважинах эта глубина достигала 1,5—2,0 *м*. В образовавшуюся указанным путем воронку из водоносного слоя поступает вода, не встречая тех сопротивлений, которые создают фильтры.

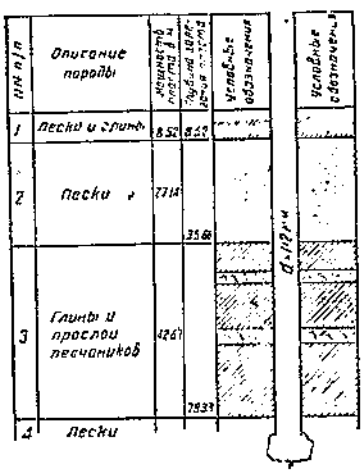


Рис. 215

Вначале такие колодцы дают значительно большие количества воды по сравнению с колодцами, оборудованными сетчатыми фильтрами[2].

Что же касается продолжительности службы безфильтровых колодцев, то имеющиеся пока эксплоатационные данные противоречивы. Одни говорят о хорошей многолетней работе таких колодцев, другие — наоборот.

Во всяком случае устройство безфильтровых колодцев в песках признается допустимым лишь при наличии над ними надежной кровли и

[1] Откачку ведут до тех пор, пока выходящая из скважины вода не будет свободна от песка; работа поэтому может оказаться продолжительной.

[2] Так, по данным М. А. Лавриненко бесфильтровая скважина в г. Полтаве давала без фильтра 1 200 *м³/сутки* при понижении уровня воды на 12,0 *м*, между тем как при установке в ней фильтра суточный дебит ее при понижении уровня до 40,0 *м* составлял только 48 *м³*. Другая скважина при конечном диаметре 200 *мм* давала в сутки самоизливом без фильтра 1 000 *м³*, а при его установке лишь 220 *м³*.

при условии спокойной эксплоатационной откачки воды (для обеспечения устойчивости воронки). При отсутствии уверенности в последнем рекомендуется иногда засыпать воронку гравием или крупным песком.

§ 55. Строительная откачка воды из колодцев

После устройства фильтра производят откачку воды из колодца, которую, в отличие от эксплоатационной откачки, целесообразно называть строительной. В процессе ее из водоносного слоя извлекаются мелкие частицы грунта, а потому по окончании откачки вокруг фильтра остаются и облегают его более крупные частицы, образующие своего рода естественный фильтр. Последний при будущих эксплоатационных откачках предохраняет установленный в колодце фильтр от закупорки, а самый колодец — от заплывания.

Если колодец заложен в трещиноватой породе, то при строительной откачке из трещин извлекаются мелкие частицы разрушенной породы. Необходимая продолжительность откачки зависит от строения водоносного слоя и оканчивается по достижении полного осветления получаемой воды.

§ 56. Размеры и конструкции трубчатых колодцев

Назначение диаметров скважин. Диаметр фильтра $d_ф$ определяет, как видно из сказанного, диаметр d_n нижней колонны обсадных труб (рис. 216). Диаметр других колонн назначают — из условия, чтобы они отличались друг от друга на 50—100 *мм* и подбирались по действующему стандарту. Число же колонн назначается в зависимости от их длин.

Если n — число колонн и δ — разница в диаметрах труб смежных колонн, то диаметр первой колонны определяется из выражения:

$$d_1 = d_n + n\delta.$$

При окончании устройства колодца удаляют излишние верхние части колонн, перерезая их предварительно труборезом по линии *ab*, *cd*, *ef*.

Труборез состоит из полого цилиндра, имеющего в средней своей части три отверстия с движущимися в них плашками. В каждой из последних — резец в виде ролика, укрепленный на вертикальной оси. Плашки могут приводиться в движение в горизонтальном направлении при помощи вертикального клина, который в свою очередь получает движение от тяги, присоединяемой к штангам. Обрезаемая колонна сначала натягивается при помощи хомутов, которые надеваются на верхнюю трубу этой колонны. После этого в колонну на трубах опускают труборез на требуемую глубину, наращивая как трубы, так и штанги. Верхняя штанга соединяется обыкновенным винтом, длина которого несколько больше длины цилиндра труборeза; гайку винта опирают на подставку.

До начала операции по обрезке колонны винт опущен вниз, опущен также и клин, а потому резцы спрятаны в цилиндре; при подвертывании же гайки винта он поднимается и увлекает за собой клин, а последний приводит в движение плашки, благодаря чему резцы выступают наружу цилиндра. Поворачивая трубы, а следовательно, и труборез, и производят перерезывание колонны.

В результате вырезки верхних частей колонн колодец получает телескопический вид. Кольцевые промежутки между трубами смежных колонн тампонируются (рис. 217).

Тампонаж чаще всего делается раствором высококачественного цемента[1]. Последний подается с поверхности земли по трубкам малого

[1] Вместо этого иногда в кольцевой промежуток вставляют сальник из просмоленного каната или свинцовое кольцо клиновидной формы; конструкция сальника часто оказывается неудачной вследствие недостаточной концентричности смежных колонн труб; применение свинца, как правило, не может быть оправдано.

диаметра и попадает в заливаемое пространство по наклонной поверхности временно опускаемой деревянной пробки; при этом предварительно по трубкам прокачивают чистую воду для промывки междутрубного промежутка. В некоторых случаях для ускорения схватывания цемента прибегают к добавке к цементу хлористого кальция (около 2% от веса цемента); при глубоких скважинах, наоборот, применяют замедлители схватывания.

Достаточность диаметров верхних колонн обсадных труб, в пределах которых устанавливается насос для подъема воды, должна быть проверена по его габаритам.

Вторую колонну труб лучше оставлять необрезанной (рис. 218) и кольцевой промежуток между ними и трубами первой колонны заливать тем или иным заполнителем, чтобы предупредить попадание внутрь колодца загрязненных вод верхнего горизонта и защитить трубы второй колонны от коррозии.

В качестве заполнителя нередко применяют цементный раствор (1 : 1) [1]. В приморских районах, где верхние горизонты засоляются мор-

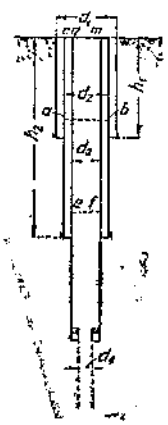


Рис. 216

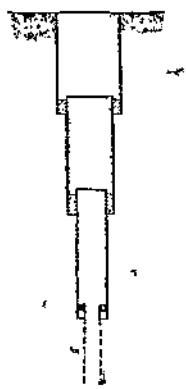


Рис. 217

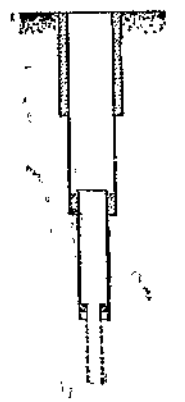


Рис. 218

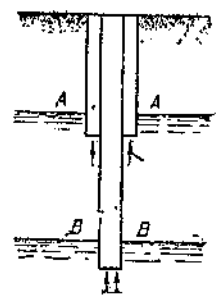


Рис. 219

ской водой, хорошие результаты давал заполнитель в виде асфальтового бетона (60—70% асфальта и 40—30% гравия с зернами порядка 3—5 *мм*).

Для того чтобы обеспечить успех заливки кольцевого промежутка, ширину его (разницу в диаметрах труб первой и второй колонн) следует назначать по возможности не менее 100 *мм*.

При устройстве скважины для получения воды колодцем из различных горизонтов с разными напорами необходимо учитывать возможность ухода воды в горизонт с меньшим напором (например в верхний) из горизонта с большим напором (нижнего), а следовательно, истощение последнего. Во избежание этого для получения воды под разными напорами пользуются различными колоннами труб. Такое решение оказывается удобным при самоизливных горизонтах. По схеме рис. 219 здесь по внутренней колонне изливается на дневную поверхность вода нижнего горизонта *B*, по кольцевому же промежутку между внутренней и наружной колоннами — вода верхнего горизонта *A*. Так, для одной из скважин центрального района СССР диаметр наружной колонны при-

[1] Верхняя часть цементного заполнения со временем может разрушаться и крошиться; поэтому сверх цемента дают иногда небольшой (порядка 15 *мм*) слой свинца с зачеканкой его.

нят 250 *мм*, диаметр внутренней — 200 *мм*; по трубам 200 *мм* изливается на поверхность земли вода нижнего горизонта (трещиноватые известняки), по кольцевому же промежутку между трубами 200 и 250 *мм* — вода верхнего горизонта (пески). При этом напор воды нижнего горизонта на 13 *м* больше напора верхнего; общий дебит скважины около 135 *м*³/*час*.

Подобные конструкции скважин встречаются и в США.

Головки и шахты трубчатых колодцев. Конструкция головки (устья) трубчатого колодца имеет большое значение с санитарно-технической точки зрения. Конструкция эта должна: 1) предупреждать попадание в колодец загрязнений, 2) допускать возможность сравнительно простой и быстрой ее разборки в целях ремонта, чистки колодца и т. п., 3) иметь для производства замеров уровней воды в колодце отверстие не менее 13—20 *мм*. Иногда через это отверстие пропускается и в нем закрепляется постоянная «наблюдательная» трубка маленького диаметра; если таковой нет, отверстие должно быть закрыто металлической пробкой. Кроме того, к головкам могут предъявляться специальные требования. За границей на головку колодца иногда устанавливается специальный водомер (рис. 220).

Рис. 220

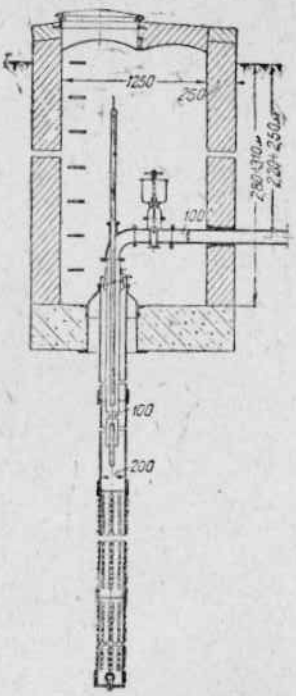


Рис. 221

Конструкция головки должна быть принята в соответствии с водоподъемным оборудованием колодца.

От этого оборудования зависит также и устройство шахты, в которой помещается головка колодца. Размеры шахты должны быть достаточны для размещения здесь необходимого оборудования, его эксплоатации и ремонта и т. д. Над полом шахты устье колодца должно иметь возвышение, диктуемое санитарными и техническими соображениями, порядка 0,3—0,5 *м*. Из шахты должен быть обеспечен отвод воды.

По условиям МПВО может потребоваться устройство шахты заглубленного и даже защищенного типа.

На рис. 221 показан один из примеров установки головки в шахте. Пропуск всасывающей трубы через днище шахты сделан при помощи колокола с постановкой медной манжеты и резинового кольца. Для наблюдения за уровнями воды во всасывающую линию (через ее колено)

пропущена наблюдательная трубка, заглубленная ниже динамического уровня. Задвижка на линии — с водяным горшком против засасывания воздуха.

Иногда вместо устройства шахты прибегают к установке стакана над верхней частью колодца, который закрывается специальным колпаком.

§ 57. Расчет колодцев

Формулы скорости движения подземной воды. Как известно из курсов геологии и гидрологии, для определения скорости движения подземной воды предложен ряд формул.

Формула Дарси:

$$v = ki,$$

где i — уклон; k — коэфициент фильтрации, зависящий от фильтрующих свойств водоносного слоя.

Определение численного значения k может быть сделано: а) путем механического анализа грунтов водоносного слоя и последующих вычислений по имеющимся эмпирическим формулам; б) лабораторным способом путем фильтрования воды через испытуемые грунты при помощи специальных приборов; в) путем замеров действительных скоростей движения подземной воды; г) пробными откачками воды из опытных колодцев.

Формула Дарси справедлива для случаев ламинарного движения воды, имеющего место в мелкозернистых породах с малыми скоростями, при турбулентном движении подземной воды прямая пропорциональность между v и i нарушается. Для таких случаев многими исследователями и практическими работниками признается правильным пользоваться формулой Смрекера:

$$v = \left(\frac{1}{C}\right)^{\frac{1}{m}} \cdot i^{\frac{1}{m}},$$

причем численные значения коэфициента C и показателя степени m определяются в каждом отдельном случае путем пробных откачек из опытных колодцев. Обычно численное значение m бывает в пределах от 1,0 до 2,0; при ориентировочных расчетах принимают иногда $m=1{,}5$.

Для случаев движения воды с большими скоростями в трещиноватых горных породах формулы Дарси и Смрекера непригодны. Движение воды в таких породах, разбитых на многочисленные, весьма различно переплетающиеся между собой узкие и широкие щели, является случаем чрезвычайно сложного движения воды по неопределенной системе каналов. В связи с этим при расчетах, которые могут быть лишь весьма ориентировочными, пользуются формулой:

$$v = k_m \sqrt{i},$$

где k_m — коэфициент фильтрации.

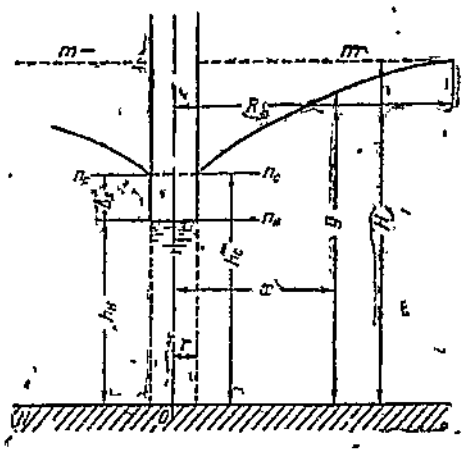


Рис. 222

Расчет полного колодца, получающего безнапорную воду. Предположим (рис. 222), что 1) полный колодец опущен до водоупора в водоносный слой, где зеркало подземной воды m горн-

зонтально, 2) верхняя поверхность водоупора горизонтальна, 3) коэфициент фильтрации в пределах всего того объема водоносной породы, из которого колодец получает воду, одинаков.

Пока нет откачки воды из колодца, уровень воды в нем находится на той же отметке, что и зеркало подземной воды, т. е. на отметке статического уровня водоносного слоя.

При откачке воды уровень в водоносном слое постепенно падает по мере приближения к колодцу и у стенки последнего оказывается на отметке n_c (так называемом динамическом уровне).

Если количество воды, откачиваемое из колодца в единицу времени, равно тому количеству, которое притекает в него, то отметка n_c устанавливается постоянной.

В самом же колодце уровень воды будет на отметке n_k ниже отметки n_c на величину Δs, численное значение которой зависит от условий поступления воды внутрь колодца.

В результате вокруг колодца образуется воронка, ось которой совпадает с осью колодца.

Для упрощения расчетов считают, что поверхности притока воды в колодец могут быть приняты цилиндрическими.

Вертикальные сечения через ось колодца дадут симметричные кривые $n_c - m$ депрессии.

Расстояние R, считая от оси колодца до точки, где понижение статического уровня подземной воды становится незначительным и практически может приниматься равным нулю, называют радиусом действия колодца.

Если взять прямоугольные оси координат с началом в точке O, то количество воды, притекающее к колодцу через боковую поверхность какого-либо цилиндра высотой y и радиусом основания x, определится по выражению:

$$q = 2\pi x y v. \tag{1}$$

Если исходить из закона Дарси, то средняя скорость v выразится через $k \cdot \frac{dy}{dx}$ и тогда:

$$q = 2\pi x y k \frac{dy}{dx}; \tag{2}$$

отсюда

$$q \frac{dx}{x} = 2\pi k y \, dy, \tag{3}$$

и по интегрировании

$$q = \frac{\pi k y^2}{\ln x} + C. \tag{4}$$

Аналогично для какого-либо цилиндра высотой y_1 и радиусом основания x_1:

$$q = \frac{\pi k y_1^2}{\ln x_1} + C \tag{5}$$

из (4) и (5):

$$q = \frac{\pi k \left(y^2 - y_1^2\right)}{\ln x - \ln x_1}. \tag{6}$$

Пусть r — наружный радиус колодца, H — высота слоя воды в водоносном пласте, h_c — высота слоя воды у стенки колодца.

Тогда пределы интегрирования:

для x . . . . . R и r.
для y . . . . . H и h_c.

При этих обозначениях уравнение (6) получает вид:

$$q=\frac{\pi k\left(H^2-h_c^2\right)}{\ln R-\ln r}. \tag{7}$$

При переходе к десятичным логарифмам:

$$q=\frac{1{,}36k\left(H^2-h_c^2\right)}{\lg\frac{R}{r}}. \tag{8}$$

Если понижение уровня воды у стенки колодца $H-h_c$ обозначить через s_c, то уравнение (8) может быть написано в виде:

$$q=\frac{1{,}36k}{\lg\frac{R}{r}}(H+h_c)(H-h_c)=\frac{1{,}36k}{\lg\frac{R}{r}}(H+h_c)s_c, \tag{9}$$

а при замене h_c через $(H-s_c)$ в уравнении (8)

$$q=\frac{1{,}36k\left(2Hs_c-s_c^2\right)}{\lg\frac{R}{r}}. \tag{10}$$

Если для скорости движения подземной воды принять формулу Смрекера, то сделанный вывод изменится следующим образом:

$$q=2\pi xy\left(\frac{1}{C}\right)^{\frac{1}{m}}\cdot\left(\frac{dv}{dx}\right)^{\frac{1}{m}}. \tag{11}$$

После преобразований

$$q^m\frac{dx}{x^m}=\frac{(2\pi)^m}{C}\cdot y^m dy. \tag{12}$$

По интегрировании

$$q=\frac{2\pi}{C^{\frac{1}{m}}}\sqrt[m]{\frac{m-1}{m+1}\cdot\frac{H^{m+1}-h_c^{m+1}}{\frac{1}{r^{m-1}}-\frac{1}{R^{m-1}}}}. \tag{13}$$

В тех случаях, когда член $\frac{1}{R^{m-1}}$ оказывается действительно очень малым и может быть принят практически равным нулю, уравнение (13) упрощается и получает вид:

$$q=\frac{2\pi}{C^{\frac{1}{m}}}\sqrt[m]{\frac{m-1}{m+1}\left(H^{m+1}-h_c^{m+1}\right)\cdot r^{m-1}}. \tag{14}$$

Если, наконец, для скорости движения воды в трещиноватых породах принять формулу вида $v=k_m\sqrt{I}$, то нетрудно получить для q выражение:

$$q=2\pi k_m\sqrt{\frac{0{,}33\left(H^3-h_c^3\right)}{\frac{1}{r}-\frac{1}{R}}}. \tag{15}$$

Расчет полного колодца, получающего напорную воду. Обозначим на схеме (рис. 223) через: a — толщу водоносного напорного слоя, r — радиус колодца R_a — радиус действия колодца, H_a — непониженную пьезометрическую высоту, h_c — пьезометрическую высоту у стенки колодца.

Тогда, делая вывод, как и в предыдущем случае:

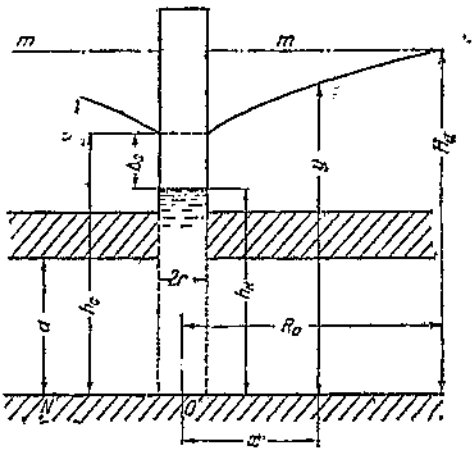


Рис. 223

$$q = 2\pi x a k \frac{dy}{dx}, \qquad (16)$$

$$q\frac{dx}{x} = 2\pi a k\, dy, \qquad (17)$$

$$q = \frac{2\pi a k y}{\ln x} + C, \qquad (18)$$

$$q = \frac{2\pi a k y_1}{\ln x_1} + C, \qquad (19)$$

$$q = \frac{2\pi a k (y - y_1)}{\ln x - \ln x_1}. \qquad (20)$$

Пределы изменений:

для x . . . . . R_a и r

для y . . . . . H_a и h_c

Из уравнения (20) имеем:

$$q = \frac{2\pi a k (H_a - h_c)}{\ln R_a - \ln r}. \qquad (21)$$

При переходе к десятичным логарифмам:

$$q = \frac{2{,}73 a k (H_a - h_c)}{\lg \frac{R_a}{r}}. \qquad (22)$$

Или после замены $(H_a - h_c)$ через s_c:

$$q = \frac{2{,}73 a k}{\lg \frac{R_a}{r}} s_c. \qquad (23)$$

Обозначая 2,73 ak через $\frac{1}{\alpha}$, получаем:

$$q = \frac{s_c}{\alpha \lg \frac{R_a}{r}}, \qquad (24)$$

откуда

$$s_c = \alpha q \lg \frac{R_a}{r}. \qquad (25)$$

Если для скорости движения подземной воды принять формулу Смрекера, то полученный вывод изменится следующим образом:

$$q = 2\pi a x \left(\frac{1}{C}\right)^{\frac{1}{m}} \left(\frac{dy}{dx}\right)^{\frac{1}{m}}. \qquad (26)$$

После преобразования формула (26) получит вид:

$$q^m \frac{dx}{x^m} = (2\pi a)^m \frac{1}{C}\, dy, \qquad (27)$$

и по интегрировании

$$q = \frac{2\pi a}{C^{\frac{1}{m}}} \sqrt[m]{\frac{(m-1)(H_a - h_c)}{\frac{1}{r^{m-1}} - \frac{1}{R_a^{m-1}}}}. \qquad (28)$$

Если член $\frac{1}{R_a^{m-1}}$ весьма мал, то

$$q = \frac{2\pi a}{C^{\frac{1}{m}}} \sqrt[m]{(m-1)(H_a - h_c) r^{m-1}}. \qquad (28а)$$

Наконец, если для скорости движения воды в трещиноватых породах принять выражение $v = k_m \sqrt{i}$, то можно получить для q формулу вида:

$$q = 2\pi a k_m \sqrt{\frac{H_a - h_c}{\frac{1}{r} - \frac{1}{R_a}}}. \qquad (29)$$

Сделанный вывод справедлив для таких случаев, когда пьезометрическая высота h_c у стенки колодца больше толщи a напорного водоносного слоя. Если $h_c < a$, то в пределах воронки будут такие точки (рис. 224), ординаты которых будут равны a при абсциссах, равных R.

Тогда в пределах от R_a до R применимо уравнение (21), согласно которому

$$q = \frac{2\pi a k (H_a - a)}{\ln \frac{R_a}{R}},$$

или

$$\ln R = \ln R_a - \frac{2\pi k a}{q}(H_a - a). \qquad (30)$$

В пределах же от R до r, т. е. в пределах безнапорной части депрессионной воронки, приложимо уравнение (7), из которого:

$$q = \frac{\pi k \left(a^2 - h_c^2\right)}{\ln \frac{R}{r}}, \qquad (31)$$

или

$$\ln R = \ln r + \frac{\pi k}{q}\left(a^2 - h_c^2\right). \qquad (32)$$

Приравняв правые части уравнений (30) и (32), нетрудно получить:

$$q = \frac{\pi k \left(2Ha - a^2 - h_c^2\right)}{\ln \frac{R_a}{r}} \qquad (33)$$

или, после перехода к десятичным логарифмам:

$$q = \frac{1{,}36 k \left(2Ha - a^2 - h_c^2\right)}{\ln \frac{R_a}{r}}. \qquad (34)$$

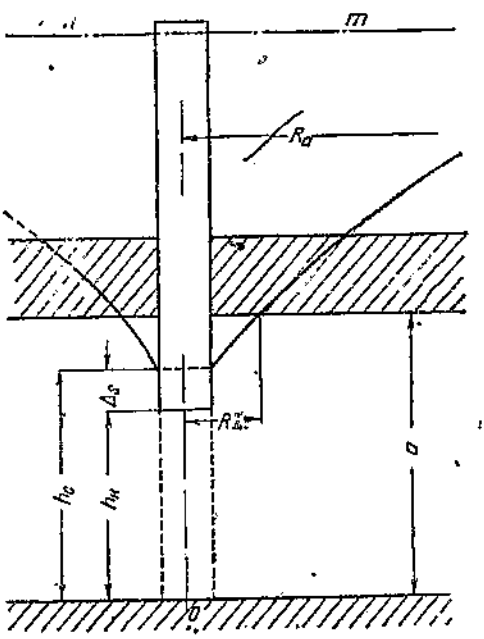


Рис. 224

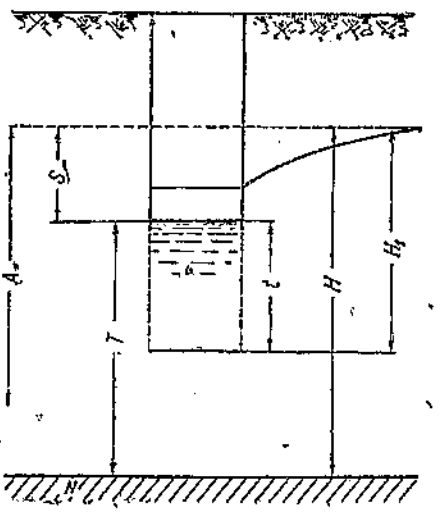


Рис. 225

Расчет неполного колодца, получающего безнапорную воду. Некоторые исследователи полагали, что высоту H_1 непонижённого уровня воды (рис. 225) над подошвой колодца можно принимать в расчетах за толщу водоносного слоя, так как считали, что ниже подошвы колодца не происходит сколько-нибудь существенного движения тех струек воды, которые могли бы поступить в колодец. Однако такие расчеты могут приводить к неправильным решениям особенно при малой глубине колодца.

В таких случаях пользуются нередко формулами Форхгеймера следующего вида:

1) Для неполного колодца, получающего воду только через отверстия в стенках и имеющего закрытое днище:

$$q_1 = q\sqrt{\frac{2T-t}{T}}\cdot\sqrt{\frac{t}{T}}. \qquad (35)$$

2) Для неполного колодца с открытым днищем, получающего воду как через днище, так и через стенки:

$$q_{II} = q\sqrt[4]{\frac{2T-t}{T}}\cdot\sqrt{\frac{t+0{,}5r}{T}}. \qquad (36)$$

Здесь q, q_I, q_{II} — дебиты колодцев полного и неполных при одной и той же глубине откачки;

r — радиус колодцев,

T — высота пониженного уровня воды над водоупором в неполном колодце;

t — высота пониженного уровня воды над подошвой неполного колодца.

Подставляя в уравнение (35) и (36) выражение q для полного колодца по уравнению (8) и пренебрегая величиной Δs, нетрудно получить:

$$q_1 = \frac{1{,}36k(H^2-T^2)}{\lg\frac{R}{r}}\sqrt[4]{\frac{2T-t}{T}}\cdot\sqrt{\frac{t}{T}} \qquad (37)$$

и

$$q_{II} = \frac{1{,}36k(H^2-T^2)}{\lg\frac{R}{r}}\sqrt[4]{\frac{2T-t}{T}}\cdot\sqrt{\frac{t+0{,}5r}{T}}. \qquad (38)$$

Если высота $(H-H_1)$ расположения днища неполного колодца над водоупором значительна, то вода будет притекать в колодец не из всей толщи водоносного слоя, а лишь из некоторой A, которую обычно называют активной. Величину A можно определить или 1) по соотношениям $\frac{s}{H_1}$, согласно табл. 26, или 2) по формуле, выведенной Т. И. Шиненко и имеющей вид:

$$2A\left[1-\sqrt[4]{\frac{2(A-s)-t}{A-s}}\cdot\sqrt{\frac{t+0{,}5r}{A+s}}\right] = s.$$

Тогда по вычисленной величине A и найденному значению $A-s=T_A$ может быть определен дебит:

1) неполного колодца с закрытым днищем по формуле:

$$q_1 = \frac{1{,}36k\left(A^2-T_A^2\right)}{\lg\frac{R}{r}}\sqrt[4]{\frac{2T_A-t}{T_A}}\cdot\sqrt{\frac{t}{T_A}},$$

2) неполного колодца с открытым днищем по формуле:

$$q_{\text{н}} = \frac{1,36k\left(A^2 - T_A^2\right)}{\lg\frac{R}{r}} \sqrt[4]{\frac{2T_A - t}{T_A}} \cdot \sqrt{\frac{t + 0,5r}{T_A}}.$$

Таблица 26

$s:H_1$	0,2	0,3	0,5	0,8
A	$1,3H_1$	$1,5H_1$	$1,7H_1$	$1,85H_1$

Расчет неполного колодца, получающего напорную воду (рис. 226). Для определения дебита такого колодца пользуются иногда эмпирической формулой Козени, которая имеет вид:

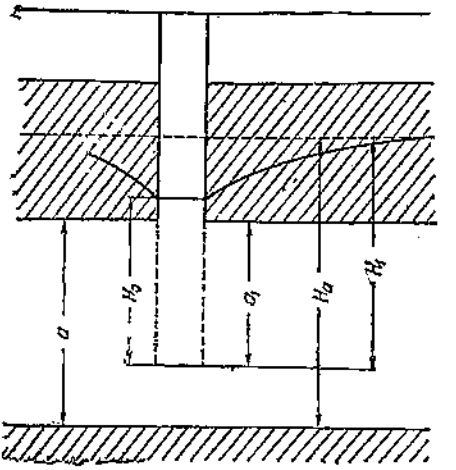


Рис. 226

$$q = \frac{2,73a_1k(H_1 - H_0)}{\lg\frac{R_a}{r}}\left(1 + 7\sqrt{\frac{r}{2a}} \cdot \sqrt{\frac{a_1}{a}}\cos\frac{\pi a_1}{2a}\right).$$

Здесь a, k, r, R_a имеют значения, которые отмечены при выводе формулы расхода воды для полного колодца, a_1 — глубина погружения колодца в водоносный слой, H_1 — глубина колодца от его подошвы до статического уровня воды, H_0 — глубина воды в неполном колодце.

§ 58. Зависимость дебита колодца от различных факторов

Коэфициенты фильтрации. Определение численных значений коэфициента фильтрации k и коэфициентов m и C, входящих в формулы, выведенные для расчета колодцев, может быть сделано, как это уже отмечалось ранее, при помощи откачки воды из опытного колодца и замеров уровней в наблюдательных колодцах.

Пусть последние (рис. 227) сделаны на расстояниях x_2 и x_1 от опытного колодца O; пусть, кроме того, уровни воды в наблюдательных колодцах падают на величины s_2 и s_1. Тогда из уравнения (20):

$$q = \frac{2\pi ak(s_1 - s_2)}{\ln x_1 - \ln x_2} \quad \text{и} \quad k = \frac{q(\ln x_1 - \ln x_2)}{2\pi a(s_1 - s_2)}.$$

Величину m в формуле скорости по Смрекеру определяем из уравнения (28):

$$\frac{q_1^m}{q_2^m} = \frac{s_1}{s_2}, \quad \text{откуда} \quad m = \frac{\lg s_1 - \lg s_2}{\lg q_1 - \lg q_2}.$$

Пусть для определения C в формуле Смрекера из опытного колодца O откачивается количество воды q, причем понижение уровня воды в наблюдательных колодцах, сделанных на расстояниях x_1 и x_2 от опытного, равны s' и s''. Тогда из уравнения (28):

$$C = (m-1)\left(\frac{2\pi a}{q}\right)^m \cdot \frac{s' - s''}{\frac{1}{x_1^{m-1}} - \frac{1}{x_2^{m-1}}}.$$

Диаметр колодца. Формула (10) дает логарифмическую зависимость дебита колодца от его диаметра (радиуса). Поэтому часто считают, что увеличение диаметра имеет очень малое значение; вывод этот подтверждают обычно диаграммой проф. Принца, которая построена на основании формулы (10) и имеет вид по рис. 228.

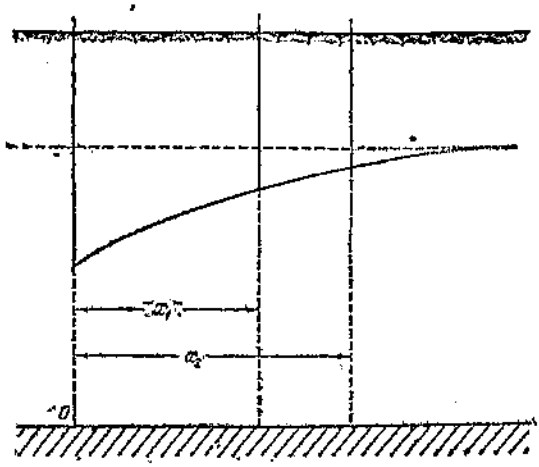


Рис. 227

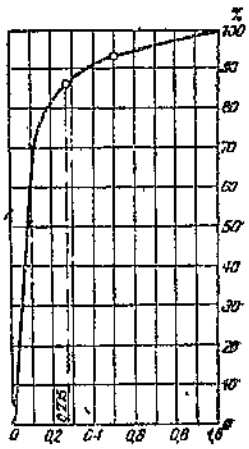


Рис. 228

Если по оси абсцисс откладывать различные диаметры колодцев — от 100 до 1 000 *мм*, а по оси ординат дебиты колодцев, выраженные в процентах от дебита колодца диаметром 1 000 *мм*, то получается кривая, из которой видно, что увеличение диаметра более 275 *мм* не дает сколько-нибудь существенного увеличения дебита. Так, например, колодец диаметром 500 *мм* дает воды лишь на 8% меньше по сравнению с колодцем вдвое большего диаметра.

Если приток подземной воды имеет действительно ламинарный режим, то сделанный вывод близок к действительности. При турбулентном же режиме влияние диаметра колодца на его дебит существенно возрастет.

Нельзя также забывать о том, что с усилением откачки воды из колодца без увеличения его диаметра могут значительно возрастать сопротивления поступлению воды через фильтр.

Радиус действия колодца. При логарифмической зависимости q от R, влияние радиуса действия колодца на его дебит оказывается малым только при больших численных значениях R; если же величина R невелика, то влияние это может быть существенным.

Наиболее надежно было бы определить R непосредственными измерениями при пробных откачках в процессе изысканий. Способ этот, однако, на практике неприменим ввиду значительной продолжительности и дороговизны таких определений.

Поэтому весьма важную роль играют формулы, которые позволяют вычислять R со степенью точности, достаточной для практических целей.

Из целого ряда предложенных формул значительное распространение получила экспериментальная формула Зихардта, имеющая вид:

$$R = 3\,000 s \sqrt{k},$$

где s — понижение уровня воды в колодце в *м*, k — коэфициент фильтрации в *м/сек*.

Большим распространением пользуется также формула И. П. Кусакина, предложенная им для приближенного определения расчетной ве-

личины R при искусственном понижении ненапорных вод и имеющая вид:

$$R = 575s\sqrt{Hk},$$

где H — толща водоносного слоя в $м$; s и k имеют прежние значения.

Удельные дебиты колодцев. Для колодца, получающего безнапорную подземную воду, дебит q определяется из формулы (10):

$$q = \frac{1{,}36k2H}{\lg\frac{R}{r}}\left(s_c - \frac{s_c^2}{2H}\right) = \frac{2{,}72kH}{\lg\frac{R}{r}}\left(s_c - \frac{s_c^2}{2H}\right).$$

Если положить в последней формуле:

$$a_1 = \frac{2{,}72kH}{\lg\frac{R}{r}} \quad \text{и} \quad \frac{1{,}36k}{\lg\frac{R}{r}} = b_1,$$

то зависимость между расходом воды из колодца и понижением уровня у его стенки s_c определяется уравнением:

$$q = a_1 s_c - b_1 s_c^2.$$

Ввиду того что определение величины s_c в процессе изысканий усложняет последние, в расчеты вводят легко замеряемые понижения в колодцах s, и тогда для выражения зависимости между расходом воды и понижением уровня пользуются формулами вида:

$$s = aq + bq^2, \qquad (I)$$

где a и b — численные коэфициенты.

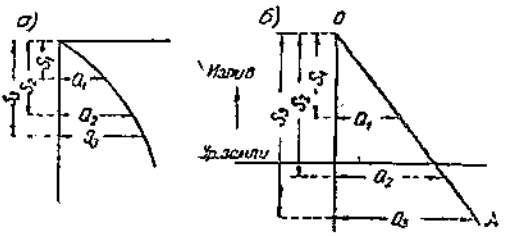


Рис. 229

Если при изысканиях откачивать из какого-либо колодца различные количества воды q_1, q_2, q_3, замерять эти количества и одновременно соответствующие им понижения s_1, s_2, s_3, а затем, приняв q_1, q_2, q_3 за абсциссы s_1, s_2, s_3 за ординаты, построить зависимость q/s, то она изобразится (рис. 229, $а$) кривой, которая близка к параболе.

Далее расчеты упрощают тем, что полагают величину $\frac{s_c^2}{2H}$ очень малой и вместо формулы (I) пользуются формулой:

$$s = aq, \qquad (II)$$

допуская таким образом линейную зависимость между s и q. Если колодец получает воду напорную, то формула (24) дает для него:

$$s_c = q\alpha\lg\frac{R_a}{r},$$

т. е. устанавливает линейную зависимость между s и q. Как и в предыдущем случае в расчеты вместо s_c вводят s и для зависимости q/s пользуются формулой вида (II). Графически эта зависимость выражается по рис. 229,$б$.

При движении воды по обсадным трубам глубоких скважин могут возникать довольно большие гидравлические сопротивления, которые изменяют линейную зависимость между q и s[1]. Из формулы (II):

$$\frac{q}{s} = q_0. \qquad (III)$$

[1] Ввиду этих сопротивлений и введения в расчеты s вместо s_c было бы правильнее пользоваться формулами вида $s = aq + bq^2$.

Величину q_0 называют удельным дебитом колодца, т. е. дебитом на единицу глубины понижения уровня (обычно на 1,0 *м*).

Учет районных депрессионных воронок. При расчетах дебитов и определении уровней воды в колодцах[1] необходимо учитывать районные понижения уровней подземных вод.

На основании обследований ряда районов напорных вод Н. А. Плотниковым установлено, что с увеличением количеств забираемой в районе воды идет сравнительно закономерное районное понижение пьезометров напорной воды.

Если понижение в глубокой части получающейся в этом случае воронки обозначить через s_r и выражать в метрах, а количества забираемой в районе воды через Q *м³/сутки*, то величина

$$\alpha = \frac{1000 s_r}{Q}$$

может быть вызвана удельной районной депрессией[2].

Для отдельных напорных горизонтов некоторых пунктов СССР Н. А. Плотниковым приводятся следующие данные (табл. 27).

Таблица 27

Пункт	Водоносный горизонт		Основные показатели			
	порода	глубина *м*	год	Q *м³/сутки*	понижение s_r *м*	удельная депрессия α
К	Газы	100	1933	36 100	18,0	0,5
Х	Пески	650	1932	20 817	19,29	0,93
К	»	80—150	1932	11 000	4,86	0,44
П	»	500	1930	2 600	1,66	0,64
П	»	80	1936	8 000	14,5	1,8
Х	Мел	100	1933	28 000	19,0	0,68
Б	Известняк	70	1936	36 000	9,4	0,26

Для одного и того же горизонта одного и того же района численное значение удельной депрессии не остается постоянным, а изменяется, как это видно на примере сеноманского водоносного горизонта в К. из табл. 28.

Таблица 28

Год	Q *м³/сутки*	s_r *м*	Удельная депрессия α	Год	Q *м³/сутки*	s_r *м*	Удельная депрессия α
1926	11 000	2,56	0,250	1930	25 000	14,0	0,566
1927	11 700	4,89	0,418	1931	30 100	16,86	0,560
1928	15 200	9,24	0,679	1932	38 100	17,50	0,527
1929	19 300	13,44	0,692	1933	36 100	18,00	0,500

В результате по Н. А. Плотникову численное значение удельной депрессии можно принимать примерно в пределах 0,5—1,0 *м* на каждые 1 000 *м³/сутки* забираемой воды в районе.

[1] Особенно при больших дебитах.

[2] Глубина депрессионной воронки зависит, понятно, не только от количеств забираемой воды, но и от площади распространения депрессии и расположения колодцев.

Действие колодца в потоке подземной воды. Пусть колодец O устроен в потоке, который движется (рис. 230) отдельными прямолинейными, взаимно параллельными струйками (*1—33*). При отборе воды из колодца лишь некоторые струйки (*12—22*) поступают в колодец и питают его; поэтому полоса потока, заключающая указанные струйки и ограниченная водоразделными точками s, называется полосой питания; на рис. 230 она показана заштрихованной. Остальные струйки (*1—11*) и (*23—33*) только огибают колодец, который оказывает на них влияние лишь в том, что заставляет их изменить свое

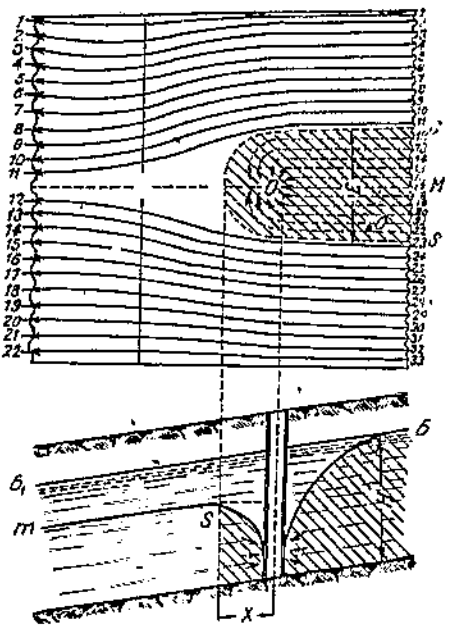


Рис. 230

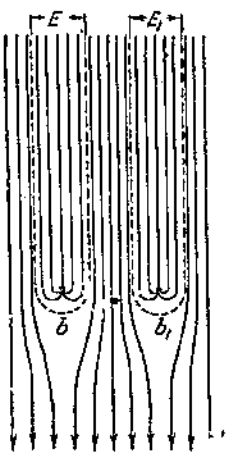


Рис. 231

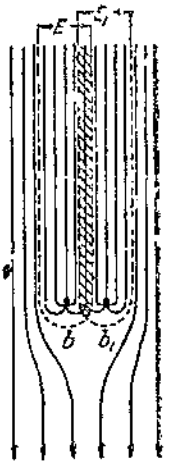


Рис. 232

естественное направление и снижает статический уровень воды; все струйки (*1—33*), на которые колодец в итоге оказал свое влияние, лежат в полосе влияния.

Какой-нибудь другой колодец O_1, устроенный в полосе питания первого колодца O, может получать воду за счет уменьшения дебита колодца O.

Колодец же O_2, устроенный в соответствующем удалении от O, будет получать воду независимо от последнего, но статический уровень воды в колодце O_2 будет ниже по сравнению с тем, который наблюдался бы в нем при отсутствии отбора воды из колодца O.

На рис. 231 показаны два колодца, имеющие независимые полосы питания, а на рис. 232 — два колодца с пересекающимися полосами питания.

Пусть из какого-либо колодца откачивается количество воды Q, которому соответствует ширина полосы влияния $2R$. Если обозначить ширину полосы питания через $2R_п$, то можно получить $R_п = \alpha R$, причем $\alpha < 1$.

Численные значения коэфициента α принимают иногда в пределах 0,5—0,66, однако их следует считать лишь ориентировочными.

Как известно из курса гидрогеологии, назначение взаимных расстояний между колодцами может производиться в некоторых случаях при гидрогеологических изысканиях путем определения полос влияния и питания колодцев.

§ 59. Трубчатые водосборы

Принципиальные схемы. Общая схема водосбора из трубчатых колодцев изображена на рис. 233.

Входящие в систему водосбора колодцы располагаются на взаимных расстояниях l_1, l_2, l_3, определяемых расчетами (на основе данных изысканий) и которые могут быть или одинаковыми или различными в зависимости как от гидрогеологических свойств отдельных участков используемого водоносного горизонта, так и от конструктивного разрешения системы.

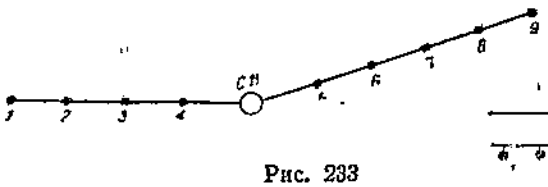


Рис. 233

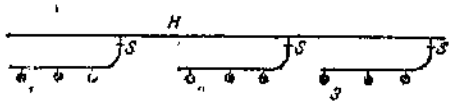


Рис. 234

При напорных подземных водах размещение колодцев далеко не всегда увязывается с направлением движения этих вод; при водах же безнапорных линия колодцев располагается по возможности нормально к направлению их движения. С точки зрения МПВО строгая прямолинейность размещения колодцев представляется нерациональной, особенно если над колодцами устраиваются надземные павильоны.

Колодцы присоединяются к сборным трубопроводам, по которым вода поступает в сборные резервуары *СК*, а из них забирается насосами насосной станции и по водоводам подается к объекту водоснабжения.

По своему характеру сборные трубопроводы могут быть различны — сифонные, самотечные, всасывающие и др., что зависит от глубины залегания подземных вод и прочих местных условий. От характера сборных трубопроводов зависит и тип сборных резервуаров; они могут быть в виде шахтных колодцев большого диаметра, подземных, полуподземных, в виде железобетонных емкостей того или иного вида и пр.

Сборные резервуары рационально располагать посредине системы колодцев. Последнее важно с точки зрения лучшего обеспечения бесперебойности водоснабжения: при повреждении одного сборного трубопровода второй может оставаться в работе; при этом гидравлические сопротивления в сборных трубопроводах и диаметры их могут быть меньше. Такое расположение сборных резервуаров в некоторых случаях имеет преимущество и в смысле осуществления постройки водосборов по очередям; сначала может укладываться одна из линий, а впоследствии — другая. Размещение сборных резервуаров по середине линии колодцев важно и с точки зрения МПВО. С этой же точки зрения целесообразно кольцевание сборных трубопроводов, групповое включение колодцев в сборные трубопроводы (рис. 234) и, наконец, присоединение отдельных групп колодцев самостоятельными линиями труб к сборным резервуарам. Иногда (за границей) встречаются примеры объединения сборных резервуаров с насосными станциями в виде шахт довольно большого диаметра (порядка 12 *м*); тогда меньшая часть шахты является собственно сборником воды, поступающей сюда по сифонам, другая же — большая часть (отделенная от первой водонепроницаемой перегородкой) представляет собой насосную станцию. В нижней части последней устанавливаются (под залив) вертикальные центробежные насосы, а вверху — вертикальные электромоторы. Такое

устройство нецелесообразно как общее решение и может быть оправдываемо только специфическими местными условиями.

Так как степень водопроницаемости одного и того же водоносного пласта бывает различна в разных его пунктах, то при большом числе необходимых для водоснабжения трубчатых колодцев водосбор разбивают (рис. 235) иногда на ряд отдельных водосборов I, II, III и располагают их там, где наиболее простым способом, с меньшей глубиной откачки, можно получить требующееся количество воды. При каждом отдельном водосборе устраивается насосная станция, которая качает воду в подземные сборные резервуары *P*, помещаемые около главной насосной станции.

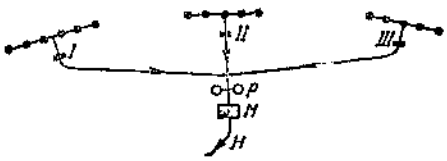


Рис. 235

Насосы последней забирают воду из резервуаров *P* и по водоводам *H* подают ее к местам потребления.

Такое рассредоточение водосборов с точки зрения МПВО заслуживает большего внимания даже при наличии водоносных слоев одинаковой водопроницаемости на больших протяжениях. Однако слабым местом схемы по рис. 235 является наличие одной главной насосной станции, а потому желательно хотя бы при некоторых водосборных линиях устраивать станции, которые подавали бы воду непосредственно к объекту водоснабжения.

Иногда сборные резервуары не устраиваются и вода из колодцев поступает непосредственно к насосам станции, что для общего случая нельзя признать рациональным. При наличии резервуаров сравнительно просто осуществляется присоединение к водосбору новых колодцев в связи с развитием водоснабжения. Сборные резервуары могут служить осадочниками для песчинок и вообще для тяжелых частиц водоносного слоя, выносимых водой из колодцев; резервуары не допускают развития в сборных линиях гидравлических ударов. При отсутствии резервуаров неравномерность работы насосов может неблагоприятно отражаться на колодцах. Наконец, в сборные резервуары некоторых типов целесообразно бывает включать также запасы воды, необходимые для специальных нужд водопровода (пожарные расходы и пр.) [1].

Сифонные водосборы. Вдоль линии колодцев (рис. 150) укладывается сифон, состоящий из двух ветвей; каждая из них имеет вертикальные части, опускаемые в трубчатые колодцы, и участки, которые прокладываются с небольшим подъемом к сборному шахтному колодцу; в последнем обе ветви оканчиваются вертикальными отростками, причем в точках перегиба сифона устанавливаются воздушные колпаки, в которых собираются газы, выделяющиеся из воды, а также воздух, могущий попадать в трубы сифона через неплотности их стыковых соединений. Когда при выкачивании воды из сборного колодца статический уровень ее здесь понижается, то вода из трубчатых колодцев поступает в сифонные трубы и по ним идет в сборный колодец, причем во время действия системы динамический уровень воды в сборном колодце будет ниже, чем в трубчатых, на высоту гидравлических сопротивлений в сифоне.

Для начала действия последнего необходимо предварительно удалить из него газы (воздух) — зарядить сифон, что делается при помощи вакуум-насоса, который устанавливается в насосной станции и трубами

[1] Понятно, что если подземные воды требуют улучшения их качества (деферризации, умягчения, дегазации и т. д.), то роль запасных выполняют в основном резервуары чистой воды.

малого диаметра присоединяется к колпакам сифона. Иногда зарядка сифона осуществляется путем заливки его водой при помощи труб, прокладываемых от насосной станции или от особо устраиваемого резервуара, в котором помещается необходимое количество воды; при этом на концах всех вертикальных частей сифона устанавливаются обратные клапаны; так как последние вызывают довольно большие сопротивления движению воды, то такой способ зарядки нерационален (особенно в водоснабжениях среднего и большого масштабов).

Остановимся на главнейших особенностях сифонных водосборов.

Содержание газов в подземной воде (углекислота и др.) может достигать значительных величин. Так, по Мюллеру можно принять, что в 100 *л* подземной воды (с температурой 13°) содержится 2—3 *л* или в среднем 2,5 *л* газов (около 2,5%).

Таблица 29

Высота всасывания в *м*	Внутреннее давление в *ат*	Количество газов в *л* на 100 *л* воды
0	1	2,5:1 = 2,5
1	0,9	2,5:0,9 = 2,78
2	0,8	2,5:0,8 = 3,12
3	0,7	2,5:0,7 = 3,57
4	0,6	2,5:0,6 = 4,17
5	0,5	2,5:0,5 = 5,00
6	0,4	2,5:0,4 = 6,25
7	0,3	2,5:0,3 = 8,33
8	0,2	2,5:0,2 = 12,50

Так как газы в сифоне (где давление меньше атмосферного) расширяются, то разным степеням разрежения в сифоне будут соответствовать различные количества газов в 100 *л* воды, что видно из табл. 29.

В действительности из воды выделяется не все это количество газов, а только — 40—60% их.

Пусть, например, по сифону подается вода в количестве 6,8 *л/сек* при наибольшей высоте всасывания 7,0 *м;* количество выделяющихся газов, подлежащее отсасыванию из сифона, составит в этом случае $6{,}8 \times 8{,}33 \times 0{,}6 \times 0{,}01 = 0{,}34$ *л/сек*.

Через неплотности стыковых соединений труб, через сальники, задвижки и пр. внутрь сифона может проникать воздух извне; определить его количество заранее очень трудно, так как оно зависит от тщательности укладки сифона, а также условий эксплоатации.

Для уменьшения количества проникающего воздуха трубы сифонов должны быть уложены с тщательной заделкой стыков. С этой целью применяются иногда стыки специального типа, например раструбы с резиновыми кольцами и др. Кроме того, после укладки сифонных труб должна быть проверена герметичность их на вакуум (в 8—10 *м* вод. ст.) в течение 24 час.[1].

По данным проф. Принца общее количество газов (воздуха) можно принимать около 0,8 — 1,0 *л/сек* на каждые 1 000 $м^3$ воды, получаемой в сутки при высоте всасывания сифона в 6—7 *м*.

На малых сифонах для удаления из них воздуха применяют специальные аппараты. Отметим аппарат Кертинга, представляющий собой систему сопел (конических насадок) и приводимый в действие рабочей водой, подаваемой к нему под напором.

Аппарат отличается сравнительно простым устройством, но имеет тот недостаток, что требует для работы много воды, поэтому его целесообразно применять лишь там, где имеется избыток воды.

[1] Иногда в целях уменьшения проникания воздуха в сифоны стремятся укладывать их ниже уровня грунтовых вод, но это ведет к удорожанию сифонов и к менее тщательному выполнению стыковых соединений.

В табл. 30 приводятся некоторые данные о таких аппаратах.

Таблица 30

Количество удаляемого воздуха в *л/час* (при разрежении в 5 *м* вод. ст.).	Диаметры труб в *мм* для		
	рабочей воды при давлении в 3 *ат*	всасываемого воздуха	отвода из аппарата
1 900	25	20	30
2 850	30	25	40
5 700	40	25	50
10 700	50	30	60
15 800	60	40	70
25 000	70	50	80

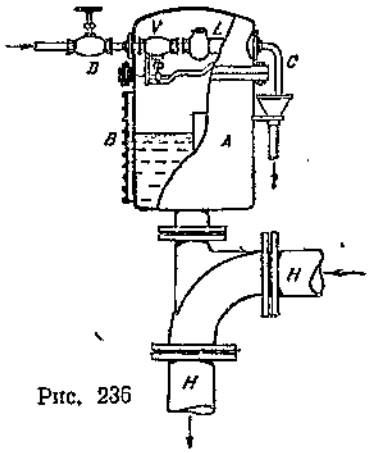


Рис. 236

Существует немало различных конструкций, автоматически включающихся в работу аппаратов.

На рис. 236 показана автоматически действующая установка Кертинга. В точке перегиба сифона *H* помещается (желательно с установкой задвижки) воздушный колпак *A* с поплавком. При накоплении в колпаке воздуха поплавок опускается до определенной отметки и при помощи системы рычажков открывает клапан *V* на трубе *D*, проводящей рабочую воду под напором. Тем самым включается в действие всасывающий аппарат *L*; воздух из колпака *A* засасывается в аппарат и вместе с отработавшей напорной водой удаляется по трубе *C*. Когда уровень воды в колпаке достигнет определенной верхней отметки, поплавок соответственно поднимется, закроет клапан *V* и выключит аппарат из работы.

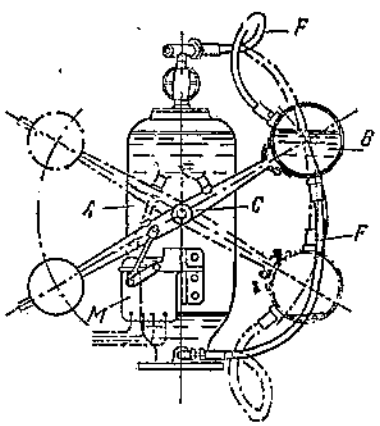


Рис. 237

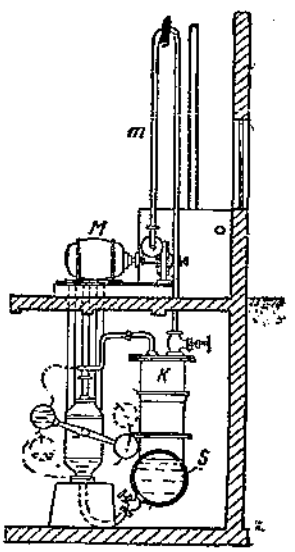


Рис. 238

При больших сифонах рационально применение вакуум-насосов с автоматизацией их включения. С этой точки зрения представляет интерес аппарат — так называемый депримостат. Установка его на сифоне видна из рис. 237 и 238.

Депримостат состоит из металлического резервуара *A*, нижняя часть которого соединяется с сифонными трубами, а верхняя — с воздушным колпаком *K*, поставленным в возвышенной части сифона. При

помощи гибких труб F резервуар A (как верхняя, так и нижняя его части) соединен с цилиндрическим бачком B, который укреплен на двух рычагах, вращающихся на горизонтальной оси и уравновешенных контргрузами D. Вес последних подобран таким образом, что когда бачок B наполнен водой, он опускается вниз, а контргрузы поднимаются вверх. Если в сифоне мало воздуха, то уровень в колпаке K находится в верхней его части, а бачок B занимает нижнее положение. Как только уровень воды в колпаке K упадет ниже верхнего края бачка B, то благодаря наличию соединительных гибких рукавов F понизится уровень воды в резервуаре A депримостата и в бачке B. При этом уменьшится вес воды бачка B и нарушится равновесие его с контргрузами F; последние опустятся вниз и рычагами поднимут вверх бачок B. В этот момент произойдет замыкание электрического контакта и включится в действие электромотор M, соединенный с вакуум-насосом, который начнет выкачивать воздух из колпака K, а также из резервуара A и бачка B. Вследствие этого бачок B будет наполняться водой, вес его увеличится, рычаги опять передвинутся и поднимут контргрузы D кверху; электрический ток при этом прервется и электромотор с вакуум-насосом перестанут работать. Когда в сифоне накопится воздух и (вследствие этого) упадет горизонт воды в бачке B, опять начнется описанный цикл работы депримостата.

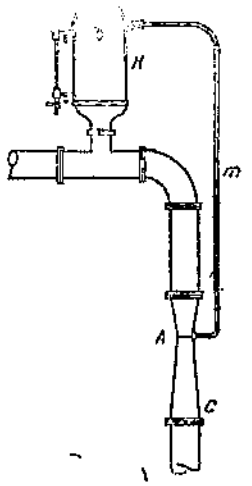


Рис. 239

Независимо от установки аппаратов или вакуум-насосов на вертикальной части сифона в сборном колодце полезно помещать вставку C Вентури (рис. 239). От горла A последней к колпаку K проводится трубка небольшого диаметра; благодаря понижению давления в горле воздух из колпака отсасывается и увлекается водой в сборный колодец.

Диаметры сифонных труб определяют, исходя из сравнительно малой скорости движения воды, порядка 0,6—0,75 *м/сек*, чтобы гидравлические сопротивления, а следовательно, и падение уровня воды в сборном колодце не были большими. Необходимо учитывать, что при определении этих сопротивлений по обычным формулам, принятым для расчета труб (формула Маннинга и др.), они получаются преуменьшенными из-за недоучета наличия газов (воздуха) в сифоне. Очень большое влияние могут оказывать газы при движении их с водой через колена, задвижки, клапаны и т. п. Однако для надлежащего учета этих сопротивлений пока еще нет достаточных данных.

Для уменьшения сопротивлений важно принимать меры к уменьшению количества газов в сифоне, давая меньший вакуум в нем, в частности, за счет более глубокого заложения сифонных труб. Последнее целесообразно, кроме того, с точки зрения более интенсивного отбора воды сифоном из колодца, а также с точки зрения МПВО.

Помимо этого необходимо иметь в виду и гидравлическое условие, согласно которому возвышение сифона должно быть не более примерно 7—8 *м* над самым низким горизонтом воды; при назначении последнего весьма важно принимать во внимание колебания уровня подземных вод в районе водосборов.

Сифоны укладываются, как отмечено выше, с подъемом к сборному колодцу. При небольшой длине сифона удается давать подъем в $^1/_{200}$—$^1/_{500}$. При сифонах большой длины, в несколько километров (до 8 и более), указанные подъемы обычно неосуществимы; тогда их принимают очень малыми — в $^1/_{1000}$ и даже $^1/_{4000}$. Примеры хорошо ра-

ботающих сифонов значительной длины (в СССР и за границей) подтверждают достаточность таких малых подъемов.

Для лучшего обеспечения бесперебойной работы сифонов, особенно при большой глубине заложения их, рационально укладывать их в проходных каналах (рис. 240). Последние позволяют контролировать стыки, проверять уклоны, быстро находить просадки, ликвидировать их, тем самым ликвидируя и воздушные мешки.

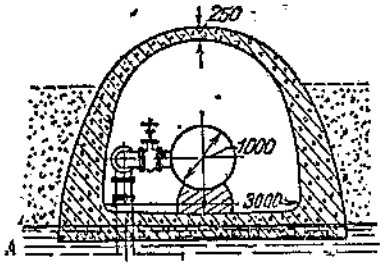


Рис. 240

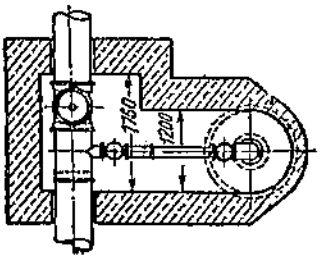


Рис. 241

Если каналы не устраиваются, то во всяком случае следует детали присоединения отдельных колодцев к сифону располагать в удобных для осмотра шахтах (рис. 241).

Интересно использование таких шахт для установки на сифонах контрольных гляделок, как это имело место при постройке в свое время бакинского водоснабжения (рис. 242). Гляделка представляет собой следующее устройство.

В верхней части сифонной трубы вставлена стеклянная пластинка *a*, внутренней стороне которой придана поверхность, совпадающая с кривизной сифонной трубы. По диаметру последней вставлена горизонтально стеклянная труба *b*, герметически в нее заделанная, внутренним диаметром 50 *мм*, открытая с одного конца, через который в нее можно вставлять источник света (лампочку) и освещать таким образом внутренность сифона.

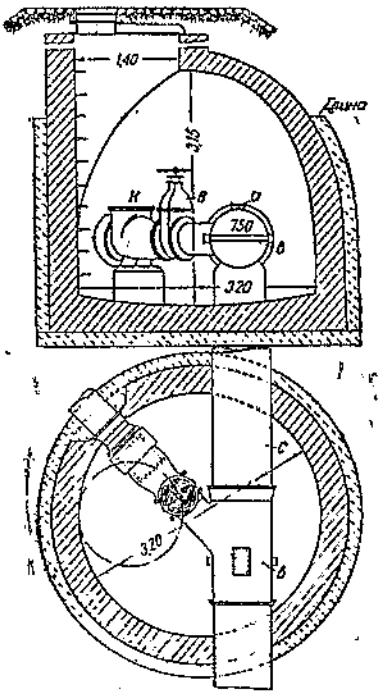


Рис. 242

Описанное приспособление дает возможность замечать проходящий по трубе воздух и определять, в какой части сифона или у какого ответвления он поступает.

В тех случаях, когда по топографическим условиям не представляется возможным укладывать весь длинный сифонный провод с подъемом в сторону сборного колодца, заслуживает внимания специальная конструкция сифона, предложенная инж. Линдлеем для бакинского водопровода.

Сифон состоит из нескольких участков, имеющих слабые подъемы и соединенных между собой стояками — перепадами, в результате чего устройство имеет вид лестницы (рис. 243). Между перепадами трубы проложены с незначительным подъемом в сторону движения воды (1 : 4000).

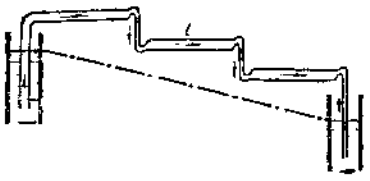


Рис. 243

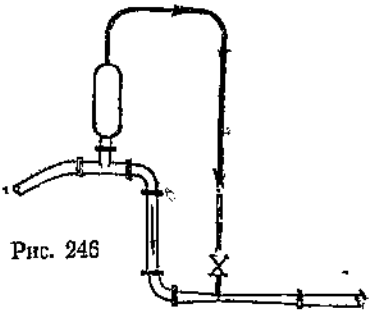


Рис. 246

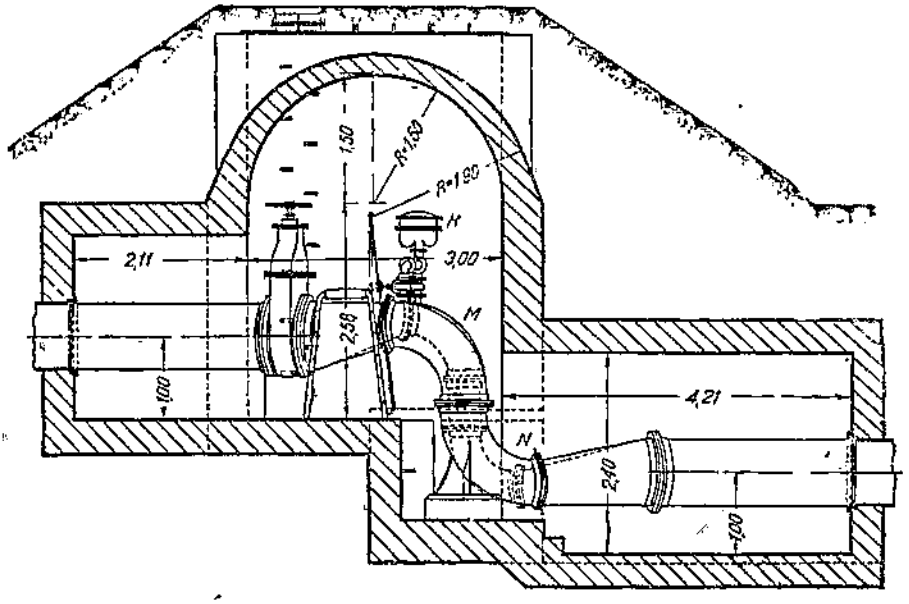


Рис. 244

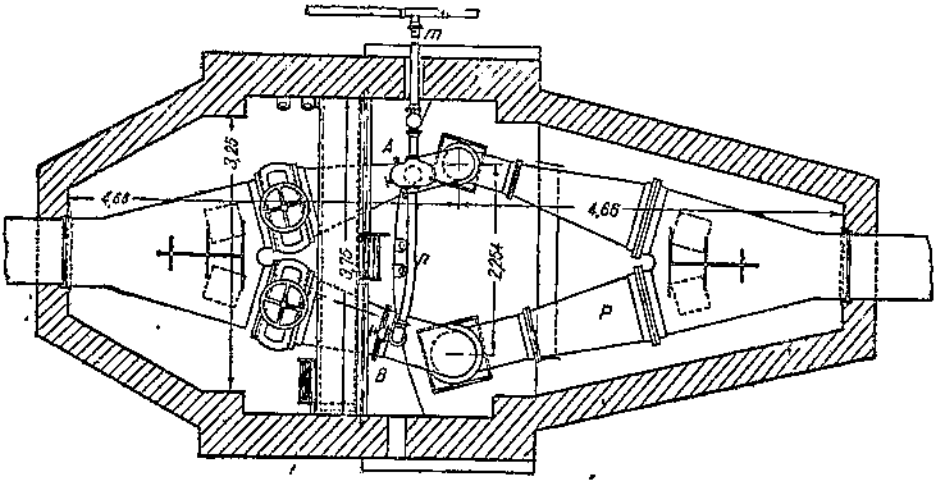


Рис. 245

Стояки сифона имеют меньший диаметр, причем горизонтальная часть переходит в стояки изгибом, напоминающим лебединую шею, т. е. поднимающимся слегка вверх, прежде чем перейти по дуге в вертикальное положение (рис. 244 и 245).

Внизу стояк переходит при помощи такого же колена в следующую горизонтальную часть сифона.

Диаметры стояков подобраны Линдлеем по скорости движения воды в 2 *м/сек*. Позднейшие исследования показали, что наивыгоднейшая скорость приближается к 1,5 *м/сек*. Попавший в сифон воздух или выделившиеся из воды газы будут проходить по горизонтальным участкам сифона и, попав в верхнюю часть перегибов, увлекаться вниз по стоякам водой, которая протекает по ним с достаточно большой скоростью.

Таким образом воздух из одной горизонтальной части переходит в следующую.

При помощи такого устройства вода автоматически увлекает воздух и проводит его по сифону до сборного колодца, так что воздушные пробки, которые могли бы нарушать правильную работу сифона, довольно просто избегаются.

Постепенный переход от большого диаметра горизонтальной части сифона к малому диаметру стояка обеспечивает незначительность потери напора, а постепенным переходом от стояка к большому диаметру следующей горизонтальной части используется часть живой силы воды от увеличения скорости в стояке.

Чтобы обеспечить достаточную скорость в стояке и при малых отборах воды, он состоит из двух труб, поперечные сечения которых составляют $^1/_3$ и $^2/_3$.

Подобного типа сифоны применены при устройстве ряда водопроводов и за границей (Швейцария, Германия).

На рис. 246 показано предложенное проф. Ю. В. Ланге некоторое видоизменение сифонного перепада Линдлея; оно заключается в том, что в нижний участок сифонного провода, сейчас же за перепадом, вводится вставка Вентури. Сжатое сечение (горло) вставки посредством трубки небольшого диаметра соединяется с концом верхнего участка перепада; благодаря вакууму в сжатом сечении может (при соответственном подборе размеров устройства) происходить достаточно хорошее отсасывание воздуха и перевод последнего из одного участка сифона в следующий.

Сборные колодцы. Диаметр сборного колодца определяется в зависимости от числа входящих в него сифонных и всасывающих линий, от их размера; при этом должна быть также обеспечена возможность удобного монтажа их и эксплоатации, ремонта и пр. Иногда, кроме того, проверяют диаметр колодца по тому объему воды $\left(\frac{\pi D^2}{4} \cdot h\right)$, который (рис. 247) заключается между статическим и динамическим уровнями воды, так как его желательно иметь на случай кратковременных перебоев нормальной работы сифона, а также при зарядке последнего. В небольших системах удается иметь этот объем равным 10—12-минутной производительности насосов станции; в больших же системах это едва ли целесообразно по соображениям экономики и затруднения производства работ при опускании колодцев значительных диаметров. По этим же соображениям в сборном колодце не помещают запас воды для регулирования неравномерной работы насосов.

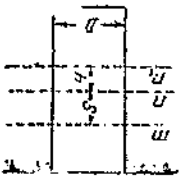


Рис. 247

Глубина сборного колодца определяется: 1) отметкой динамического уровня воды, 2) заглублением h_1 концов сифонных и всасываю-

щих линий под динамическим уровнем (желательно не менее 1,0—1,75 *м*), 3) высотой h_2 расположения этих концов над днищем колодца (желательно не менее 0,75—1,0 *м*).

Колодцы устраиваются из железобетона, хорошо обожженного кирпича, камня; обычно с водонепроницаемыми днищами.

Приемы работ по устройству сборных колодцев те же, что и при постройке опускных колодцев.

Сборный колодец необходимо располагать в достаточном удалении от насосной станции и других сооружений водосбора по соображениям санитарным (в целях предупреждения загрязнения воды извне), техническим (в зависимости от

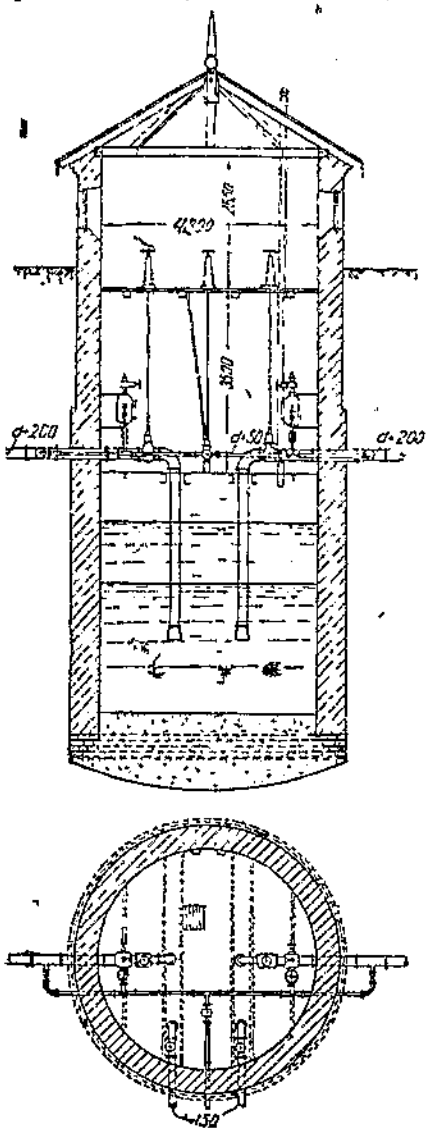


Рис. 248

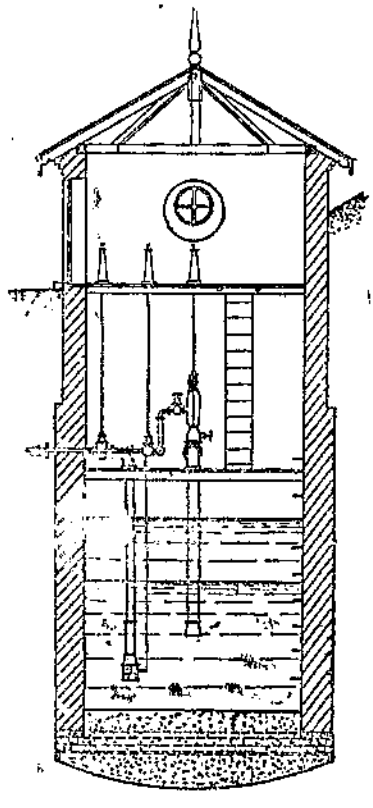


Рис. 249

способа производства работ) и соображениям МПВО. В зависимости от местных условий это удаление принимается в 50—25 *м* и никак не менее 15—10 *м* (примерно).

Для удаления из сборного колодца осадков следует предусматривать установку эжекторов или песковых насосов; они могут служить также для опорожнения колодца.

На рис. 248 и 249 показан небольшой (диаметром 4,3 *м*) колодец из кирпича; в него опущены концы двух ветвей сифона диаметром 200 *мм* и двух всасывающих линий диаметром 150 *мм*. У перегибов сифонных ветвей установлены воздушные колпаки; для зарядки сифона водой подведены трубы диаметром 50 *мм*. Над колодцем — над-

земный павильон, хотя с точки зрения МПВО устройство таких павильонов нецелесообразно.

На рис. 250 показан сборный колодец без павильона для водоснабжения большего масштаба; диаметр его 5,5 *м*, глубина около 18 *м*,

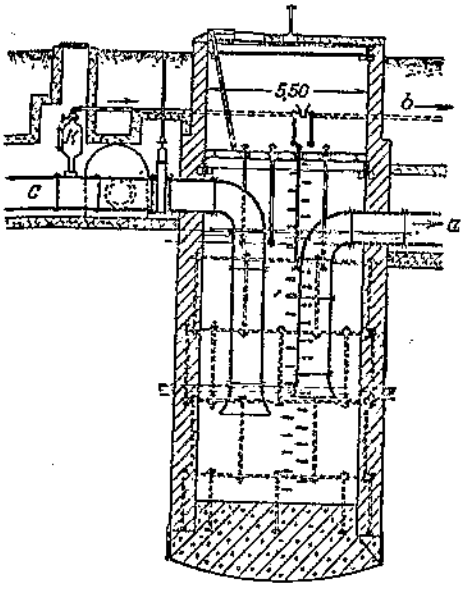


Рис. 250

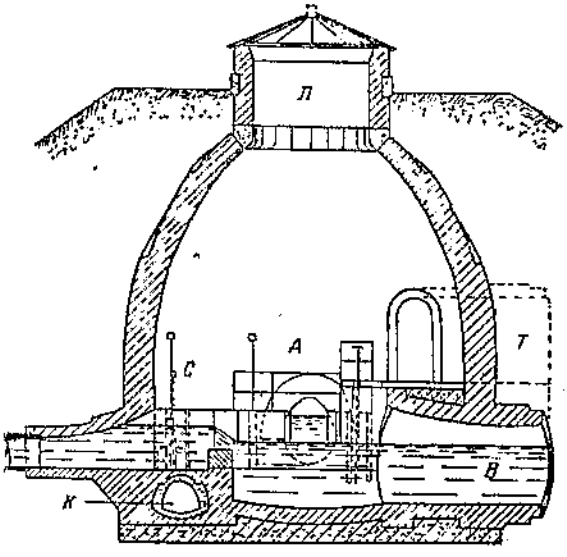


Рис. 251

трубопроводы сифонный и всасывающий проложены в туннеле. На сифоне установлен воздушный колпак *K*, к которому от вакуум-насоса идут воздушные трубки *b*; колодец имеет плоское железобетонное перекрытие с вентиляционной трубой.

На рис. 251 и 252 показан сборный колодец оригинальной конструкции (бакинский водопровод). Он состоит из цилиндрической шахты диаметром 8 *м* с купольным перекрытием. В центре колодца находится собственно сборное отделение *A* диаметром 4 *м*; из него идет водовод в город. В кольцевом пространстве *C* имеются межевые отделения I, II, III, IV, куда приводится по четырем трубам подземная вода от различных групп захватных сооружений. Труба от каждой группы захватных сооружений подходит к соответствующему межевому отделению и соединяется с ним воронкообразным уширением, благодаря чему уменьшается скорость воды и создается сравнительно спокойный излив ее в сборный колодец. Из межевых отделений в центральную часть колодца вода переливается через водосливы. Количество воды,

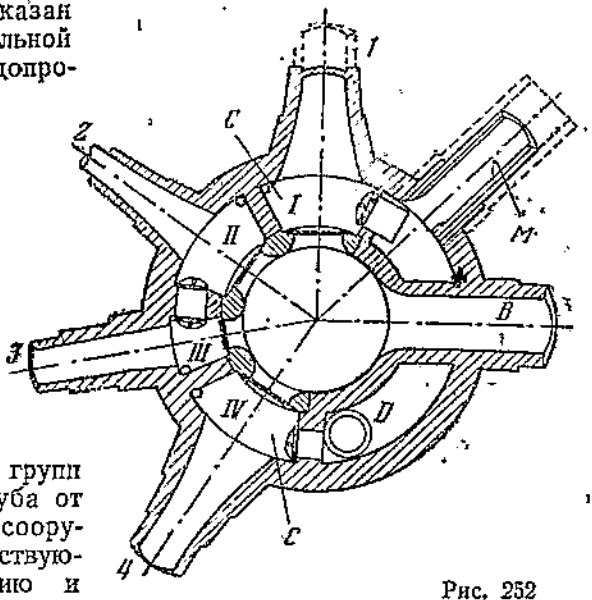


Рис. 252

соответствующее различной высоте стояния ее в межевых отделениях, отмечается самопишущими приборами с поплавками. Под межевыми отделениями устроен холостой кольцевой канал *К*, который позволяет выделять воду из любой группы захватных сооружений. Каждое межевое отделение снабжено водоспуском с холостым каналом *К*. Водоспуски сконструированы в виде чугунных ящиков с задвижками. Холостой трубопровод *М* сделан каменным, водонепроницаемым, чтобы он не мог действовать как дренаж, отвлекая воду от захватных сооружений. Для входа в сборный колодец устроена галлерея *Т*. Центральная камера колодца облицована белыми глазурованными плитками, оборудована вентилящией и освещена сверху через застекленную крышу люка *Л*.

Сравнительно редко сборный колодец устраивают с открытым днищем, через которое он может получать подземную воду и тем допускать уменьшение числа трубчатых колодцев. В этих случаях должно быть обращено большое внимание на меры против возможного попадания в сборный колодец внешних загрязнений; в частности, целесообразно большее удаление его от насосной станции и других головных сооружений водопровода.

При проектировании системы трубчатого водосбора следует иметь в виду возможность применения целесообразного решения, которое заключается в замене сборного колодца вакуумным котлом.

Всасывающие водосборы. Всасывающий водосбор отличается от рассмотренного сифонного тем, что насосы станции забирают воду непосредственно из колодцев, вдоль которых укладывается общая всасывающая линия; сборный резервуар здесь отсутствует. Недостатки такого устройства нетрудно усмотреть из сказанного на стр. 199.

Насосные водосборы. В тех случаях, когда динамический уровень воды залегает глубоко, например на 10—12 *м* от поверхности земли и более, колодцы оборудуются насосами первого подъема, которые подают воду по напорным сборным трубопроводам в сборные резервуары. Отсюда вода забирается насосами второго подъема станции и нагнетается по водоводам к объекту водоснабжения.

Днища сборных резервуаров желательно располагать на отметках больших, нежели отметки насосов станции, если местные условия, позволяют осуществлять это без излишних крупных затрат; при таком устройстве насосы будут под заливом, что весьма важно с точки зрения эксплоатации.

Ввиду того, что в рассматриваемом случае в сборную напорную линию подают воду несколько параллельно работающих насосов, расчет ее необходимо вести одновременно с расчетом насосов, как единой гидромеханической системы.

Иногда приведенная схема видоизменяется в том, что насосы первого подъема подают воду из колодцев прямо в насосы второго подъема, а потому сборные резервуары отсутствуют. Это следует отнести к основным недостаткам этой схемы, особенно в том случае, когда насосная станция подает воду непосредственно в сеть водопровода.

Насосно-самотечные водосборы встречаются в тех случаях, когда при наличии глубоко залегающих подземных вод применяются эрлифты, поднимающие воду к поверхности земли в небольшие баки, откуда уже вода по самотечным линиям поступает в сборные резервуары.

Самотечно-напорные водосборы. В тех случаях, когда получаемая подземная вода напорная и пьезометрические отметки пониженных уровней выше отметок земли (или близки к ним), передача воды из отдельных трубчатых колодцев в сборные резервуары производится по самотечно напорным трубопроводам.

Интересный пример таких водосборов дает водоснабжение Курска (рис. 253).

По трубопроводам *а* вода из колодцев через сухое отделение *1* камеры *К* поступает в надземные обсыпанные бассейны-резервуары *А* и поднимается до уровня *m—m*, который равен статическому уровню воды в данной местности. Из бассейна *А* вода идет в мокрое отделение *2* камеры *К*, а отсюда по нескольким линиям *b* изливается под напором в насосы, которые стоят примерно на уровне земли в машинном здании. По мере действия насосов уровень воды в колодцах, бассейнах и камере *К* падает. Сборных бассейнов — два; при помощи задвижек, поставленных на трубопроводах, можно выделять тот или иной бассейн из работы на время очистки, ремонта и пр. На случай выключения обоих бассейнов предусмотрена возможность подавать воду из колодцев непосредственно в мокрое отделение камеры *К*. Сборные бассейны снабжены переливными (холостыми) и спускными трубами, вентиляцией и лазами. Сливной и спускной трубами оборудовано также мокрое отделение камеры *К*.

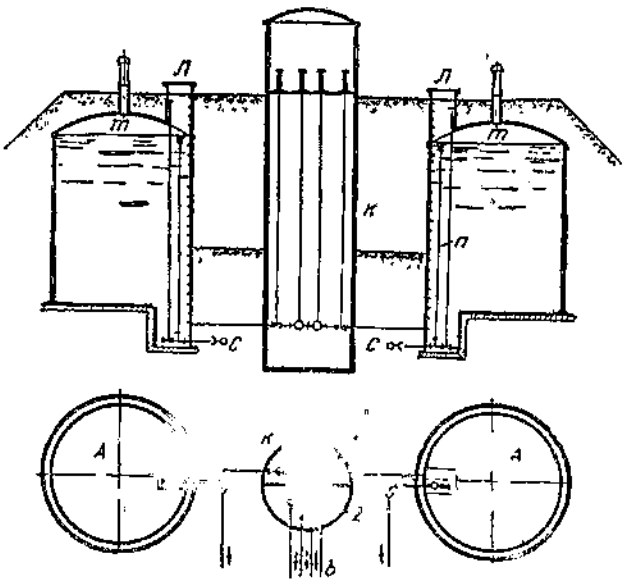


Рис. 253

§ 60. Шахтные колодцы и шахтные водосборы

Шахтные колодцы. Как уже было отмечено ранее, шахтный колодец имеет сравнительно большие размеры в плане и ограниченную глубину, примерно до 15—30 *м*. Лишь в отдельных и весьма редких случаях при наличии весьма благоприятных геологических и других местных условий глубина колодца может достигать 100 *м* и даже более.

Колодец получает воду через свое открытое дно и через отверстия в своих стенках. Обычно он не доводится до водоупора, а поэтому является неполным. В простейших, в частности, во временных водоснабжениях, могут встречаться и полные колодцы, проходящие через весь малой мощности водоносный слой и доводимые до водоупора (даже заглубляемые в него).

Шахтные колодцы, получающие воду из неглубоких горизонтов, в санитарном отношении хуже трубчатых. Однако шахтный колодец обладает и преимуществами: 1) простотой конструкции, 2) доступностью некоторых главных частей осмотру и отчасти ремонту, 3) возможностью размещать в них насосы больших габаритов, 4) возможностью обеспечивать без больших затрат очень спокойное поступление воды через открытое днище, 5) большим сроком службы; в этом отношении преимущество шахтного колодца становится особенно ярким при получении подземной воды, содержащей железо. Так, по данным эксплоатации колодцы в г. Кирове диаметром 150 *мм* с сетчатыми фильтрами (рабочей поверхности около 1,5 $м^2$) резко снижали свой первоначаль-

ный дебит 2 *л/сек* за 2—2½ года вследствие забивания мелким песком и закупорки солями железа. Между тем шахтные колодцы диаметром 1,40 *м*, получавшие воду из того же водоносного слоя [1], имевшие щебеночные фильтры на днищах, существенно уменьшали свой первоначальный дебит (по 4—5 *л/сек* для каждого) лишь через 10—12 лет опять-таки вследствие закупоривания щебеночных фильтров солями железа. 6) Наконец, шахтный колодец из-за больших размеров его поперечного сечения допускает аккумулирование в нем известного запаса воды между статическим и динамическим уровнями, что очень важно при малодебитных водоносных слоях. В этих случаях оказывается возможным вести забор воды из колодца периодически с перерывами, в течение которых и происходит упомянутое аккумулирование воды. Надо впрочем заметить, что это достоинство шахтного колодца имеет значение в основном лишь в малых водоснабжениях.

В водоснабжениях большого и среднего масштаба колодцы устраиваются каменными круглой формы в плане. Конструкции таких колодцев и приемы производства работ по их постройке по существу те же, что и для опускных колодцев, которые изучаются в курсе оснований и фундаментов.

При гидрогеологических расчетах шахтных колодцев круглой формы в плане пользуются обычно теми же формулами, которые были приведены в § 57, в частности, для неполных колодцев.

Но так как шахтный колодец часто получает воду только через свое открытое днище, то упомянутые формулы в этих случаях не пригодны. Для такого колодца на основании выводов проф. Форхгеймера можно принять:

$$q_0 = 4kr_s s,$$

где q_0 — дебит колодца в $м^3/сек$; r_s — внутренний радиус колодца в *м*; s — понижение уровня в *м*; k — коэфициент фильтрации в *м/сек*.

Что касается величины удельных дебитов шахтных колодцев, то по данным Н. А. Плотникова для ориентировочных расчетов можно принимать следующие их значения [2]:

Для гальки мало засоренной	100,0	$м^3/час$
„ песка крупного с мелким	10,0	„
„ среднего чистого	20,0	„
„ крупного	30,0	„
„ песка очень мелкого менее	2,0	„

Внутренний диаметр колодца $D_в$ определяется по наибольшему количеству забираемой воды q_{max} и допускаемой скорости $v_ф$ поступления воды через днище колодца, т. е.

$$D_в = \sqrt{\frac{4q_{max}}{\pi v_ф}}.$$

Численные значения $v_ф$ можно принимать по табл. 25. Последние признаются достаточно надежными с точки зрения предупреждения взмучивания песка со дна колодца. Несмотря на это, на дне колодца укладывают обычно фильтр из слоев крупнозернистого материала — крупного песка и гравия, размеры зерен которых постепенно увеличиваются кверху.

Для предупреждения заклинивания фракций одного слоя в промежутки между зернами вышележащего, соотношение диаметров зе-

---

[1] С содержанием железа около 2,5 *мг/л*.

[2] В случае поступления воды через открытое днище диаметром 1,0—3,0 *м* при понижениях до 5 *м*, но не более половины мощности водоносного слоя.

рен двух соседних слоев принимают не более 2,5—3; высота каждого слоя желательна при этом в 100 *мм* и во всяком случае не менее 50 *мм*.

Иногда, главным образом, на основании данных лабораторных исследований, полагают возможным отмеченные выше значения скоростей $v_ф$ увеличивать раза в 2—3, а то и несколько больше; при таких расчетных скоростях устройство фильтра на дне колодца надо считать уже совершенно необходимым. Если же принять во внимание, что не все вопросы, связанные с деталями фильтров, изучены достаточно, что заплывание фильтра вызывает большие эксплоатационные трудности, правильнее все же принимать в расчетах приведенные значения $v_ф$.

Отметим получение подземных вод простейшими шахтными колодцами деревянными и железобетонными.

Деревянные шахтные колодцы. Из пород леса, идущих на устройство шахтных колодцев, очень хороша лиственница; она долговечна и не сообщает воде привкуса. Береза, ольха, вяз также не дают привкуса, но они сравнительно быстро загнивают, особенно в надводной части колодца, например, лет за пять; в подводной части срок службы их дольше — лет 10—20. Дуб и сосна служат дольше, но сообщают воде неприятные привкусы в начале эксплоатации.

Внутренние размеры сруба обычно лежат в пределах 1,0 × 1,0—1,4 × 1,4 *м*. Венцы делаются из бревен толщиной 14—18 *см*, которые стесываются с внутренней стороны[1]. Применяют также пластины, получаемые от распила 20—22-*см* бревен и располагаемые плоской стороной внутрь сруба. Сопряжения бревен и пластин в углах делаются в косую лапу[2]. Во избежание смещения отдельных венцов в горизонтальном направлении их соединяют между собой вставными шипами[3], которые размещают вразбежку. Сруб заготавливают на поверхности земли, с тем чтобы при самой работе по устройству колодца делать только сборку.

Работу по устройству колодца начинают с отрывки котлована шахты со сторонами на 5—10 *см* бо́льшими, нежели наружный размер сруба. Глубина шахты в зависимости от грунтов достигает 3 *м* и более. На дне шахты укладывают нижний основной венец, заострив его и по возможности обшив кровельным железом, а потом наращивают сруб снизу вверх на высоту до 40—60 *см* над поверхностью земли. Затем уже приступают к углублению шахты. Для этого: 1) выбирают грунт на глубину до 20—25 *см* из-под середины стен сруба. 2) подпирают их подкладками и клиньями, 3) выбирают грунт в углах сруба, 4) выколачивая клинья и подкладки, заставляют сруб садиться[4] под действием его собственного веса, 5) наращивают сруб на высоту, равную глубине вынутого слоя грунта и произведенного опускания сруба. Продолжают затем работу указанным порядком. Если под действием собственного веса сруб не опускается, его осаживают ударами деревянной бабы или дополнительной нагрузкой камнем и другими подручными материалами.

В процессе работы происходит иногда заклинивание сруба, притом столь сильное, что осаживание его не удается. Тогда подводят венцы снизу[5]. После опускания сруба на дне колодца укладывают «донный» фильтр.

---

[1] Иногда же и с внешней; при устройстве колодца опускным способом это важно.

[2] Редко с потайным шипом.

[3] Шириной 5—6 *см*, высотой 7—10 *см*.

[4] Чтобы предупредить расхождение венцов сруба при опускании, его расшивают по углам досками, рейками, скобами и т. д.

[5] Через каждые 3—5 подведенных венцов два нижних противоположных бревна берут длиннее принятого размера на 40—50 *см*, выступающие концы их (пальцы) закладывают в углублениях в грунте («печурах», «закладах»).

Иногда шахтные колодцы устраивают с уширенной нижней частью, называемой шатром (рис. 254, *а*). Соответственно этому уширению заготовляют и сруб.

При проходке колодца вынимаемый грунт забрасывают на наклонные стенки сруба. Эта заброска дает дополнительное давление на стенки и способствует более быстрому опусканию сруба. При получении воды из малодебитных слоев устраивают шатер, который увеличивает площадь притока воды и, кроме того, позволяет иметь больший запас воды в колодце.

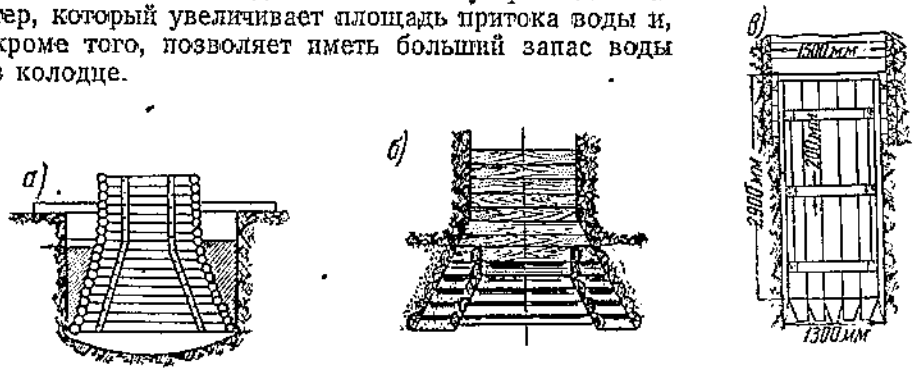


Рис. 254

При водоносных слоях, сложенных плывунами, применяют также двойной шатер (рис. 254, *б*). Наружный шатер делают высотой порядка 2,0 *м*, шириной понизу примерно до 3,0 *м*. Промежуток между стенками наружного и внутреннего шатров (около 0,5—0,6 *м*) заполняют песком, вынимаемым при углублении внутреннего шатра. Плывуны предпочитают проходить не срубом, а забивкой шпунтов из досок толщиной около 50—60 *мм*, длиной по 2—2,5 *м* (рис. 254, *в*). Полученный таким образом вертикальный ящик раскрепляется распорными рамами из брусков толщиной 80—100 *мм*, а иногда, кроме того, и подкосами.

Если плывущий водоносный слой является эксплоатационным, то донный фильтр колодца укладывают не прямо на плывучие пески, а на дощатый пол, который пришивают к нижней распорной раме; в досках делают круглые отверстия диаметром 18—25 *мм*, располагая их в шахматном порядке. При проходке напорного плывуна применяют иногда ящик с дном, которое имеет отверстие, закрываемое крышкой (рис. 255). Ящик задавливают в плывун при помощи деревянных клиньев (или домкратов) при открытом днище; через него плывун поступает в ящик; одновременно опускают сруб колодца. После заполнения ящика отверстие в дне закрывают, вычерпывают плывун из ящика, а затем продолжают работу тем же порядком.

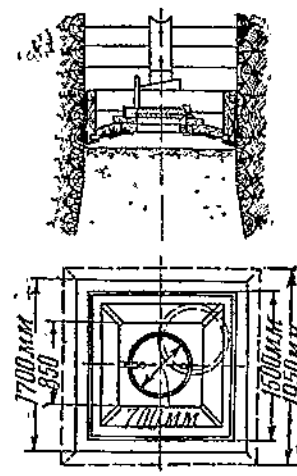


Рис. 255

При устройстве колодцев большое внимание надо уделять мерам предосторожности, в частности, проверке отсутствия[1] в шахте вредных газов и удалению их[2], если они имеются[3].

[1] Это делается путем опускания в шахту горящей бумаги, пучка соломы и т. п.; при наличии вредных газов пламя гасне .

[2] Это достигается обычно путем многократного поднимания и опускания бадьи, соломенного мата, рогожи и т. п.

[3] Скопления газов следует особенно опасаться при перерывах в производстве работ.

Для гидрогеологического расчета деревянных колодцев пользуются обычно, как это уже указывалось, формулами, выведенными для трубчатых колодцев. Однако в эти формулы необходимо вносить коррективы за счет квадратной формы.

По исследованиям В. А. Аравина дебит квадратного колодца со стороной L равен:

$$q = \frac{\pi k \left(H^2 - h_c^2\right)}{\ln \frac{R}{0{,}589L}},$$

где буквы имеют те же значения, что и в формуле (7). Вообще же по Аравину дебит колодца, имеющего в плане форму правильного равностороннего многоугольника, равен дебиту круглого колодца с радиусом, равным среднему из радиусов описанной и вписанной окружности этого многоугольника, или $r = 0{,}5\,le^m$, причем l — сторона многоугольника; e — основание натуральных логарифмов; m — показатель степени, равный для квадрата 0,89 и для равностороннего шестиугольника 1,33.

После окончания работ по устройству колодца производят его дезинфекцию хлорной известью (80—100 *г* на каждый кубометр воды в колодце) [1].

Железобетонные шахтные колодцы. С санитарной точки зрения и продолжительности службы целесообразнее устройство колодцев не деревянных, а из бетонных или железобетонных колец, заранее заготавливаемых в разборных деревянных или металлических формах. Такой колодец может устраиваться опускным способом с нижней рамой из дерева и ножом из уголка, причем наружный диаметр ножа на 5—15 *см* больше наружного диаметра колец. Высота колец — от 0,7 до 1,0 *м*, толщина их стенок примерно 8—10 *см* при составе бетона 1 : 2 : 3. Соединения колец — при помощи фальцев (в четверть). Внутренний диаметр колец — около 1,0—1,25 *м*. При больших диаметрах вес кольца получается значительным, что неудобно с точки зрения производства работ; это приходится отнести к недостатку колодцев рассматриваемого типа. Донный фильтр и оголовок устраиваются здесь так же, как и при деревянных колодцах.

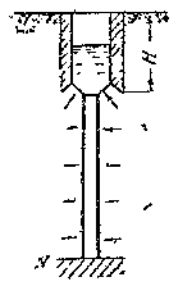


Рис. 256

Шахтно-трубчатые колодцы (комбинированные). Устройство шахтного колодца для достаточно полного использования водоносного пласта большой мощности по экономическим соображениям мало целесообразно. Иногда лишь верхняя часть такого пласта проходится шахтным колодцем, а со дна последнего через всю остальную толщу пласта опускается колодец трубчатый (рис. 256). В результате получается колодец комбинированного типа. При сравнительно большом диаметре верхней части такого колодца представляется возможным производить оборудование его насосами больших габаритов, например, горизонтальными центробежными. Это в соответствующих случаях можно относить к достоинству комбинированных колодцев, но вообще-то они редко применяются при первоначальном устройстве водосборов. Они оказывались иногда удачными при усилении водоснабжений, имевших уже шахтные колодцы.

---

[1] После введения раствора хлорной извести в воду производят тщательное перемешивание; через 2—3 часа откачивают из колодца воду до исчезновения из нее резкого запаха хлора.

Шахтные водосборы. На рис. 151 была приведена одна из принципиальных схем шахтного водосбора. Колодцы располагаются по линии, нормальной к направлению движения подземного потока, на взаимных расстояниях l, которые определяются в процессе гидрогеологических изысканий. Ввиду того что ширина полосы питания $2R_п$ шахтного колодца (рис. 230) обычно велика и во всяком случае больше, чем для трубчатого колодца, допускают иногда размещение шахтных колодцев на взаимных расстояниях $L_ш$, меньших $2R_п$. Это позволяет сократить длину водосбора в целях получения более экономичного решения. По данным Н. А. Плотникова, на практике при выборе расстояния между шахтными колодцами можно допускать их взаимное влияние в 0,5—1,0 *м* понижения уровня, что соответствует уменьшению дебита около 8—12%; кроме того, ориентировочно можно принимать $L_ш$ в пределах 5—50 *м* каждые 10 $м^3$ забираемой в час воды, причем меньшее из указанных значений — для мелких песков, а большее — для галечников.

§ 61. Горизонтальные водосборы

Принципиальные схемы. Общая схема горизонтальных водосборов была показана ранее на рис. 149. При необходимости получать большие количества воды длина горизонтального водосбора оказывается значительной; тогда последний разбивают на ряд отдельных водосборов меньшей длины (рис. 257) и располагают их там, где наиболее просто с меньшей глубиной понижения уровня подземной воды можно получить требуемый расход воды.

Рис. 257

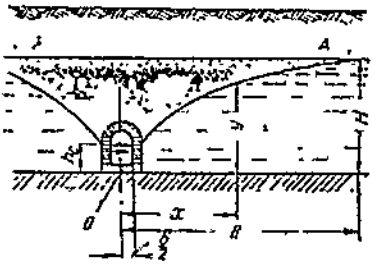


Рис. 258

При каждом водосборе устраивается насосная станция I, II, III,..., которая качает воду в подземные резервуары P, помещаемые около главной насосной станции M. Насосы последней забирают воду из резервуаров P и по водоводу H подают в водопроводную сеть труб.

Такое рассредоточение водосборов целесообразно с точки зрения МПВО. Однако в этом отношении рассматриваемая схема страдает недостатком, заключающимся в централизовании узла сооружений у главной насосной станции. Целесообразнее от каждой насосной станции каждого водосбора вести водоводы непосредственно в сеть труб водоснабжаемого объекта.

Расчет водосборов. Предположим, что 1) водоносный пласт состоит из совершенно однородной породы, залегающей на горизонтальном водонепроницаемом слое и имеет статический уровень на отметке A (рис. 258), 2) подошва водосбора заложена на водонепроницаемом слое, 3) начало прямоугольных координат находится в точке O.

Кроме того, пусть: L — длина водосбора в *м*; b — ширина его в *м*; H — толща водоносного пласта в *м*; h_0 — высота слоя воды у наружной поверхности стенки водосбора в *м*; R — предел действия водосбора в *м*.

Если исходить из закона Дарси для скорости подземной воды, то дебит q водосбора определится из уравнения:

$$q = Lyk\frac{dy}{dx}, \tag{1}$$

пределы интегрирования для x: R и $\frac{b}{2}$, для y: H и h_c.

По интегрировании уравнение (1) дает:

$$q = \frac{kL\left(H^2 - h_c^2\right)}{2\left(R - \frac{b}{2}\right)} \tag{2}$$

или ввиду малой величины $\frac{b}{2}$ по сравнению с R:

$$q = \frac{kL\left(H^2 - h_c^2\right)}{2R} = \frac{kL\,(H + h_c)\,(H - h_c)}{2R}. \tag{3}$$

Обозначая $(H - h_c)$: R через I_0, имеем:

$$q = \frac{kL\,(H + h_c)\,I_0}{2}.$$

Если исходить из формулы Смрекера для подземной скорости, то

$$q = Ly\left(\frac{1}{C}\right)^{\frac{1}{m}}\left(\frac{dy}{dx}\right)^{\frac{1}{m}}$$

и по интегрировании, полагая, что $\frac{b}{2}$ очень мало по сравнению с R:

$$q = L\frac{1}{C^{\frac{1}{m}}}\sqrt[m]{\frac{H^{m+1} - h_c^{m+1}}{R^{m+1}}}.$$

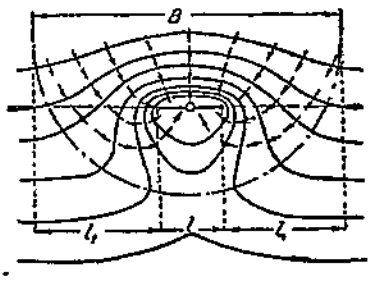


Рис. 259

При малой длине водосбора необходимо учитывать то обстоятельство, что ширина полосы питания его B (рис. 259) может существенно превышать его фактическую длину.

По Форхгеймеру дебит q короткого водосбора $L_к$ таков же, что и дебит колодца с радиусом r, равным 0,25 $L_к$; таким образом:

$$q_к = \frac{1{,}36\,k\left(H^2 - h_c^2\right)}{\lg\frac{R}{0{,}25L_к}}. \tag{4}$$

Конструкции водосборов. Конструкции водосборов могут быть весьма различны в зависимости от строения водоносного слоя, крупности его зерен от поперечных размеров труб или галлерей и пр.

Общие требования, которым должны удовлетворять конструкции помимо наибольшей возможной экономичности, можно сформулировать следующим образом: 1) водосборные линии должны быть устроены из материалов, хорошо сопротивляющихся действию воды и не ухудшающих ее качеств; 2) водосборы должны быть защищены от проникания в них поверхностных вод; 3) должен быть предупрежден вынос зерен водоносных пород в водосборы; 4) должна быть обеспечена надлежащая вентиляция водосборов; 5) подошва водосбора должна

быть заложена на водоупорном пласте; при этом следует всемерно избегать заложения подошвы водосбора выше водоупорного пласта, особенно если водоносный слой сложен зернистыми породами, так как возможны просадки труб и галлерей со всеми проистекающими отсюда последствиями (переломы, потери уклонов и пр.); кроме того, возможно движение части подземного потока под водосбором, в обход его и, появление так называемых дериватов; б) для предупреждения образования дериватов необходимо также не допускать подпора подземных вод в водосборах.

На рис. 260 показан один из простейших типов — в виде бетонного желоба, перекрытого сводиком из сухой кладки. На рис. 261 — другой простейший водосбор, представляющий собой небольшой, из отдельных камней канал с подошвой из бетонной плиты *С* с лоточком; для притока воды служат щели *б*; перекрытие водосбора — из каменной плиты.

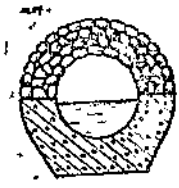


Рис. 260

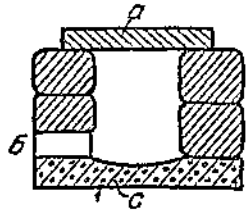


Рис. 261

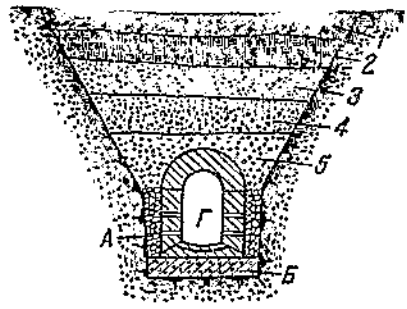


Рис. 262

На рис. 262 показан водосбор, выложенный из кирпича и поставленный на слое бетона *Б*. Водосбор имеет в своих стенках отверстия в 20 *мм* в виде швов без раствора. Снаружи стенки водосбора до пят свода обсыпаны слоем гравия *А*; сверху водосбора уложены слои: *5* — грунта, составляющего водоносный слой; *4* — крупного песка; *3* — мелкого песка, *2* — глины, *1* — поверхностной земли.

На рис. 263 показан горизонтальный водосбор, устроенный в очень мелких песках. Он состоит из труб овоидального сечения (450 ×

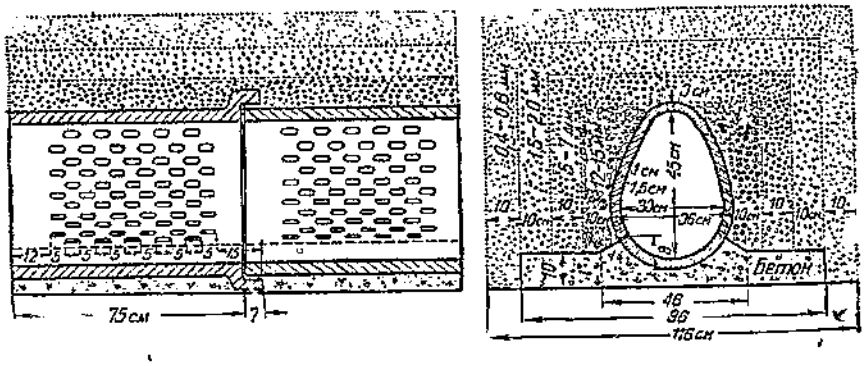


Рис. 263

× 300 *мм*) с толщиной стенок в 30 *мм*, уложенных на бетонной подушке (шириной 960 *мм*, толщиной 100 *мм*). Труба снабжена прямоугольными отверстиями; по длине трубы они расположены в шахматном порядке. В поперечнике они расположены наклонно, на взаимных расстояниях между центрами в 25 *мм*, при ширине отверстий в 10 *мм*.

Водосбор окружен четырьмя слоями (по 10 *см* каждый) гравия и песка различной крупности, причем сначала идет гравий с зернами

12—15 *мм*, затем гравий крупностью 5—7 *мм*, далее песок крупностью 1,5—2 *мм* и, наконец, мелкий песок с зернами — 0,4—0,6 *мм*.

Иногда, особенно при получении воды из трещиноватых пород, галлереи устраиваются проходимого типа; в этом случае минимальные размеры их внутри: высота 1,85—1,5 *м*, ширина 1,25—1,0 *м*; для уменьшения первоначальных затрат размеры уменьшают до 1,25 *м* по высоте и 0,75 *м* по ширине.

На рис. 264 показан подобный водосбор; как недостаток его приходится отметить необходимость при эксплоатационных осмотрах и ремонтах двигаться по слою собираемой воды (в резиновых сапогах). В этом отношении лучше галлерея по рис. 265, имеющая банкеты по обеим сторонам.

С точки зрения удобства прохода интересен тип галлереи по рис. 266. Верхняя часть галлереи — с дырчатыми стенками для притока воды, нижняя же представляет собой канал прямоугольного сечения, по которому отводится собранная подземная вода; эта часть галлереи отделяется настилом, который укладывается по поперечным балочкам и служит для прохода обслуживающего персонала.

На рис. 267 показана проходная галлерея для захвата подземных вод в районах вечной мерзлоты. Галлерея — деревянная (из лиственницы), устраивается из рам, устанавливаемых на взаимных расстояниях 0,7 *м*, стенки забираются пластинами с оставлением зазоров в 10—15 *мм* для притока воды. Верх галлереи перекрывается хорошо пригоняемыми друг к другу пластинами или досками. Между стенками галлереи и бортами траншеи, а также на перекрытии галлереи укладывается щебень, отбираемый из вынутой породы. Над щебнем — слой гравия и песка около 0,4—0,5 *м*, остальная часть траншеи засыпается грунтом из отвалов; в целях утепления галлереи над этой засыпкой — слой торфа 0,75—1,25 *м*; для защиты торфа от загорания последний покрывается слоем грунта толщиной около 0,5 *м*.

После рассмотрения нами отдельных видов горизонтальных водосборов нетрудно притти к заключению, что они целесообразны для получения воды лишь из неглубоко (например, не глубже 5—7 *м*) залегающих водоносных слоев, имеющих к тому же небольшую мощность, порядка 2,0—3,0 *м*. Для использования водоносных слоев большей мощности по всей их толще горизонтальные водосборы невыгодны, ввиду значительной стоимости сильного водоотлива, который приходится вести при производстве работ по укладке труб или каналов.

Использование неглубоко залегающих подземных вод заставляет особенно тщательно устанавливать зону санитарной охраны горизонтальных водосборов. Тем не менее последние представляют весьма рациональный способ захвата подземной воды из неглубоких слоев, сложенных трещиноватыми породами или сцементированными песками, в которых вода движется отдельными струями. Горизонтальные водосборы в этих случаях перерезают струи воды и захватывают их достаточно полно, между тем как отдельные колодцы могут и не попасть в эти струи, а следовательно, иметь слабый приток воды.

Особый тип горизонтальных водосборов представляют собой так называемые кяризы, которые устраиваются в предгорьях в Средней Азии и Закавказье местным населением в течение уже нескольких столетий. Кяриз (рис. 268) — штольня небольшого поперечного сечения высотой около 1,0 *м*, шириной около 0,5 *м* и значительной длины, достигающей иногда нескольких километров. Стенки кяриза крепятся деревянными рамами или камнем; на дне кяриза, имеющем небольшой продольный уклон, — каменный лоток для отвода собираемой воды. Для выемки земли при производстве работ и для вентиляции по длине кяриза устраиваются вертикальные шахты прямоугольного поперечного сечения с размером стороны 0,7—1,0 *м*. Расстояния между ними раз-

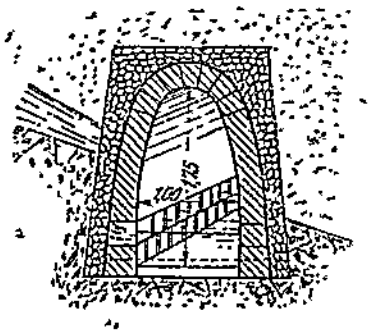


Рис. 264

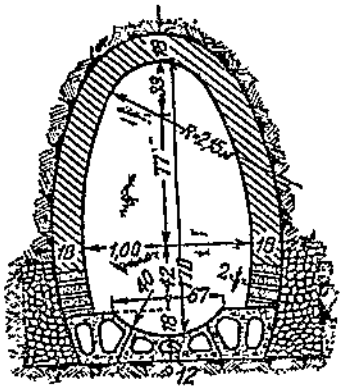


Рис. 265

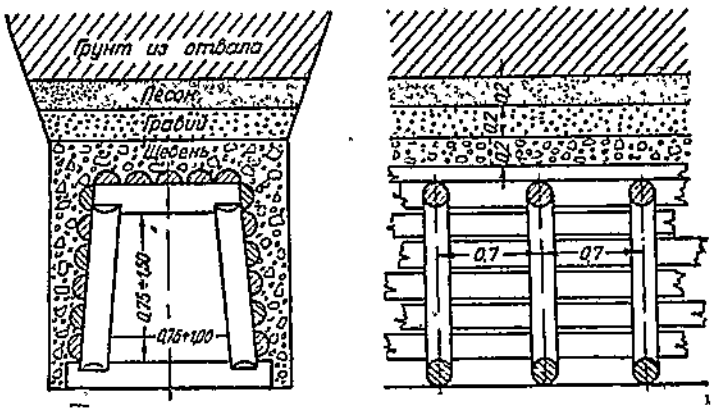


Рис. 267

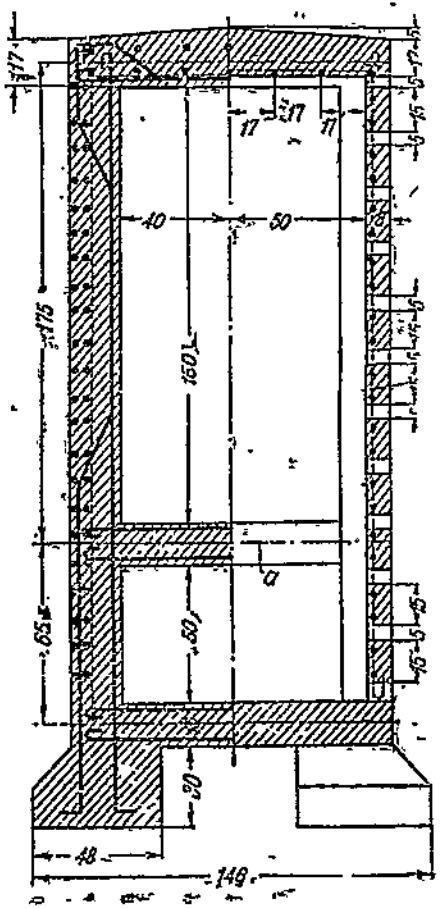


Рис. 266

личны — 50—20 *м* и менее в зависимости от характера проходимых горных пород; глубина их зависит от глубины заложения кяриза и достигает 50 *м*.

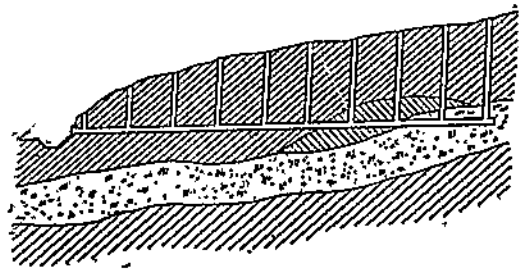


Рис. 268

§ 62. Каптаж ключей

Общие требования. Рационально устроенный каптаж должен улавливать все струи выходящей на земную поверхность воды. Если при этом он будет устроен настолько удачно, что уловит даже те струи воды, которые при исследованиях не попали в замеры дебита, то тем самым будет достигнуто действительное увеличение количества получаемой воды. Нередко же приходится встречаться с мнимым увеличением дебита, которое бывает лишь временным и происходит оттого, что устроенный каптаж дает сток той подземной воде, которая до этого момента не имела свободного выхода на дневную поверхность, а накапливалась в недрах земли.

Очень важно, чтобы основание каптажа было заложено на водоупоре; в противном случае может иметь место образование так называемых дериватов *а* (рис. 269), т. е. струй воды, которые обойдут каптаж и дадут новые выходы на дневную поверхность[1].

Многочисленные примеры этому дают горные источники Крыма и Кавказа, каптажи которых заложены в наносах щебневых, известняковых, глинисто-сланцевых и пр.

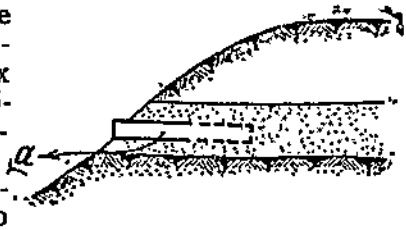


Рис. 269

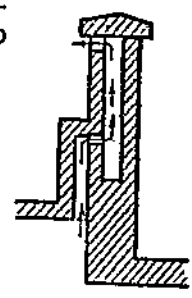


Рис. 270

Так как подобные дериваты могут иметь место в тех случаях, когда создается подпор выходящей ключевой воды, то конструкция каптажа не должна допускать образования такого подпора; по этим соображениям диаметры холостых труб каптажа должны назначаться достаточно большими.

Каптажи должны быть оборудованы вентиляционными устройствами такого типа, чтобы через них не могли проникать насекомые, мухи, лягушки. С этой целью вентиляционные отверстия снабжаются мелкими сетками или изгибаются по форме сифона (рис. 270).

Точно так же строительные проемы (двери, лазы и пр.) должны иметь конструкцию, предупреждающую попадание внутрь каптажного устройства всякого рода внешних загрязнений. Во всяком случае крышки (люки) лазов, пороги дверей и т. д. должны быть несколько выше

---

[1] В некоторых случаях удается улавливать дериваты и тем увеличивать дебит ключа, но эта работа весьма трудная и дорогая, требующая большого искусства и обстоятельнейших предварительных обследований; кроме того, она может потребовать временного прекращения действия уже существующего каптажа.

поверхности земли и иметь обсыпку с замощением откосов. Для лучшей защиты от попадания загрязненной поверхностной воды каптажные устройства покрываются слоями глины; последняя должна быть тщательно утрамбована и иметь достаточную толщину слоя — не менее 300 *мм*.

Каптаж равнинных ключей. По выходе своем на дневную поверхность равнинный ключ образует сравнительно неглубокий ключевой бассейн, откуда уже идет сток в виде ручья, речки. Нередко в одном и том же бассейне бывает несколько выходов — сильных (главных) и слабых. Каптажи такого ключа могут быть нескольких типов. Одним из решений может явиться устройство над каждым главным выходом ключа в бассейне каменного колодца с открытым днищем и водонепроницаемыми стенками (рис. 271), причем предварительно снимают грунты, прикрывающие выходы. Диаметр ключевого колодца определяется по допускаемой скорости притока воды, как это делается при расчете шахтных колодцев. Если ключ выбивается из мелкозернистого водоносного пласта, на днище ключевого колодца укладывается фильтр, как это также имеет место при устройстве шахтных колодцев. Иногда диаметр ключевого колодца проверяют по скорости вертикального поступательного движения в нем воды, принимая ее не более чем 100 *мм/сек*. Высота слоя воды в колодце должна быть достаточна для размещения труб и арматуры. Трубы сливная *А* и приемная *С* располагаются примерно на 400—600 *мм* выше дна колодца. Из отдельных колодцев вода поступает в сборный резервуар *С* (рис. 272), а из последнего — к месту назначения. Хороший пример каптажа рассматриваемого типа дают Орловские ключи под Ленинградом. Они выходят из трещиноватых известняков через прикрывающие их небольшие слои глины и лесков; выходы — на ровной низкой площадке — бассейне, откуда сток ключевой воды осуществляется в ближайшую р. Вереву. При устройстве каптажа над главными выходами (рис. 273) были сделаны колодцы диаметром около 2,0 и 3,20 *м*, доведенные до известняков и несколько затлубленные в них. Колодец диаметром 3,20 *м* показан на рис. 274. Он состоит из металлического железного (толщиной 4 *мм*) цилиндра (кессона) диаметром около 4,06 *м*, изнутри и снаружи обложенного кирпичом. Внутренняя поверхность кирпичной кладки облицована белыми фаянсовыми плитками. Над колодцем устроен павильон; пол его выложен метлахскими плитками, а крылья входа — колотым гранитом; из колодца идут трубы — рабочая диаметром 600 *мм* и сливная диаметром 400 *мм*. Окружающие колодцы грунты выбраны и вместо них уложены (считая кверху) камень, щебень, промытый песок, слой (около 0,45—0,6 *м*) жирной глины и, наконец, песчано-глинистый грунт. Из всех колодцев вода поступает в сборный (распределительный) резервуар, а из него — в насосную станцию. Избыток воды отводится из резервуара в реку; от паводков бассейн огражден земляным валом с бетонной под ним стенкой, опущенной до глины.

В случаях временных водоснабжений устройство каптажного колодца упрощается и может быть осуществлено, например, по рис. 275. Над местом выхода струек воды, после осторожного снятия прикрывающего грунта, делается насыпка из камня; верх ее и стенки котлована, огражденные свайками, обкладываются мятой глиной слоем толщиной 0,3—0,5 *м*. В каменную насыпку закладываются трубы — вентиляционная и приемная, идущая в сборный резервуар.

При выходе ключа в виде мощной струи из большой трещины тип каптажа видоизменяется. Для примера на рис. 276 и 277 показан каптаж ключа Ай Ян, служащего источником водоснабжения одного из крупных городов Крыма. Ключ выходит к поверхности земли из вертикальной колодцеобразной трещины диаметром около 1,0 *м* на гра-

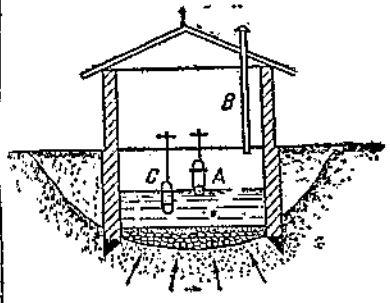


Рис. 271

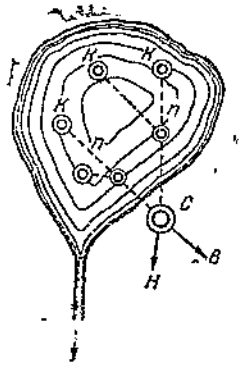


Рис. 272

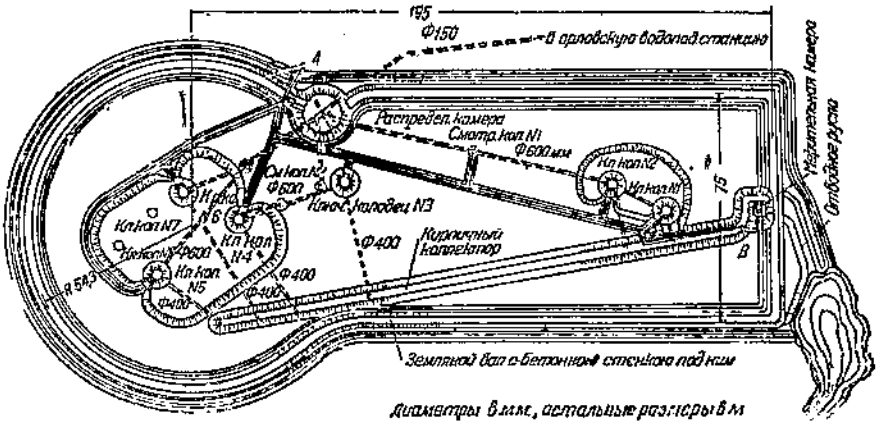


Рис. 273

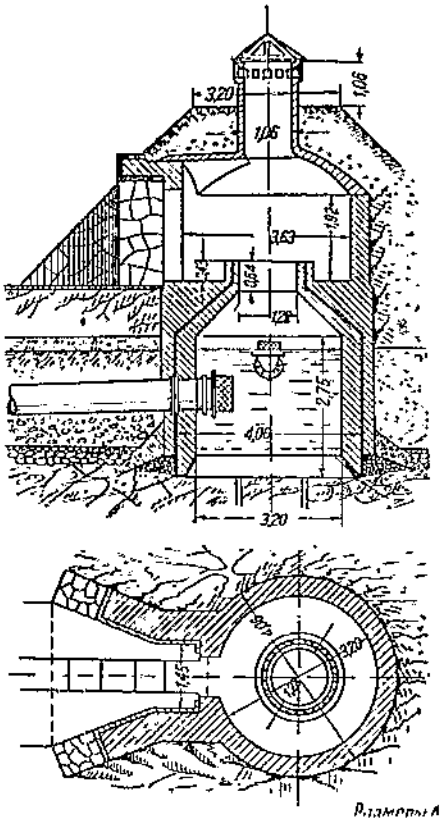


Рис. 274

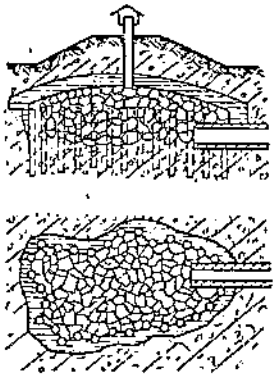


Рис. 275

нице известняков и конгломератов[1]. До каптирования ключа его выход находился в скалистом гроте; при устройстве каптажа скалы грота были сняты и над выходом было возведено здание, состоящее из приемного отделения *R* над трещиной, отделений с трубопроводами и пр.

По другой схеме захват ключевой воды делается у места ее выхода в бассейн при помощи горизонтального водосбора (рис. 278) со смотровыми колодцами; в конце водосбора расположена приемная камера *C*. При большой длине водосбора может оказаться целесообразным устройство двух приемных камер *C* и C_1 по обоим концам водосбора.

Возможно и следующее решение. Примерно по середине ключевого бассейна (рис. 279) прокладывается главная водосборная линия *K* из дырчатых труб. К ней примыкают боковые сборные линии *Д*, распределенные по площади бассейна. Главная водосборная линия заканчивается в сборной камере *C*. Как на главной, так и на боковых линиях имеются смотровые колодцы *a*. Каптажи рассматриваемого типа дороги и могут применяться лишь в очень редких случаях.

При каптаже равнинных ключей во всех разобранных случаях необходимо ограждение ключевых бассейнов при помощи нагорных канав от стекающих к ним загрязненных поверхностных вод.

На рис. 280—283 показан пример каптажа крупных ключей — источников со средним дебитом 350 *л/сек*. Ключи выходят на площади около 2 *га* из трещин доломита, в естественном состоянии прикрытого разрушенными породами слоем до 2,5 *м*. Последние при устройстве каптажа были сняты машинным способом. Образованный таким путем котлован был заполнен камнем различной крупности: внизу — размерами 50—30 *см*, далее — 15—10 *см*, затем — щебнем крупностью 6—2 *см* и, наконец, слоем песка 0,5 *м*. Для защиты от проникания атмосферной воды засыпка была прикрыта железобетонной плитой *п* толщиной 20 *см*. При расчистке ключевых выходов был обнаружен ряд воронок, заполненных черным илом; последний был вынут и воронки засыпаны чистым крупным щебнем. С низовой стороны бассейн огражден подпорной стенкой *A*.

Каптируемая вода по трубам *m* диаметром 900 *мм* отводится к сборному резервуару, в канал *1* последнего. Резервуар имеет пескоуловку *2*, из которой вода поступает в камеру *5* через два водослива. Камера состоит из двух секций, от которых идут отводные линии *4* диаметром 1 000 *мм*, холостая линия *3* диаметром 800 *мм* и спускная линия *6*; к последней примыкает обводная линия *8*, идущая из канала *1* резервуара.

Каптаж склонных ключей. На рис. 284 показан простой каптаж склонного ключа, представляющий собой камеру, которая принимает выходящую струю воды. Камера выполнена из камня на цементном растворе и состоит из двух отделений *A* и *B*. Ключевая вода через имеющееся в задней стенке отверстие поступает в отделение *B* и отсюда по водопроводной линии *C* идет для потребления. В передней стенке отделения *A* имеется люк *Л*, предназначенный для выхода в камеру. Между отделениями — разделительная стенка с водосливом; при помощи его можно производить замер дебита ключа, закрыв предварительно задвижку на линии *C*. Порог водослива должен быть расположен ниже отметки выхода ключа, по расчету, чтобы не могло иметь место образование подпора выходящей ключевой воды. Оба отделения каптажа имеют в днище сливные отверстия, по которым вода может спускаться в отводную линию *F*. Какого-либо вентиляци-

---

[1] Трещина обязана своим происхождением дислокационному процессу, в результате которого был сброс.

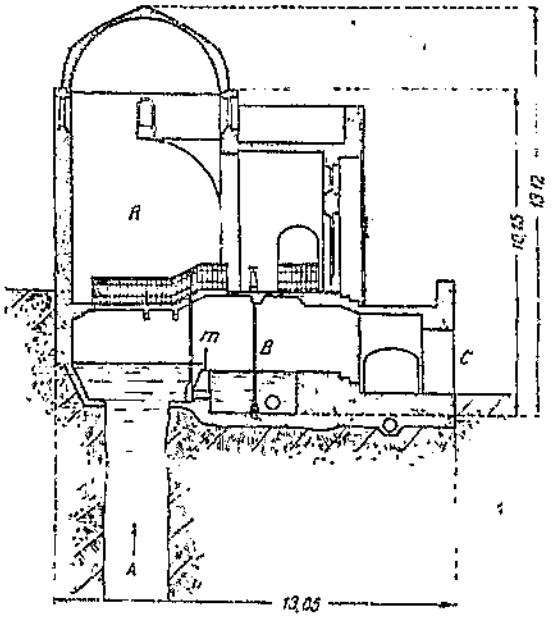


Рис. 276

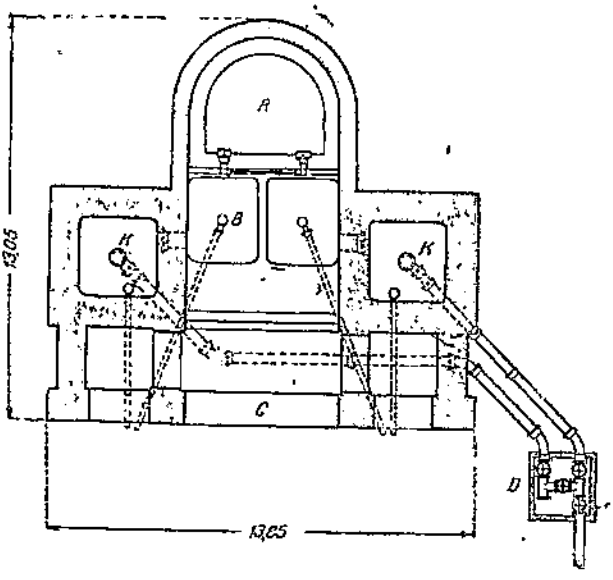


Рис. 277

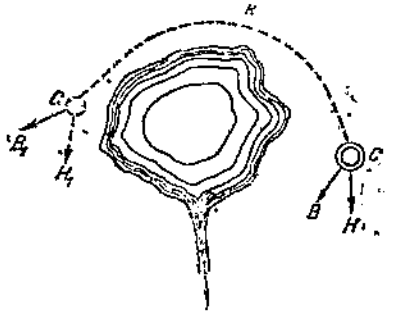


Рис. 278

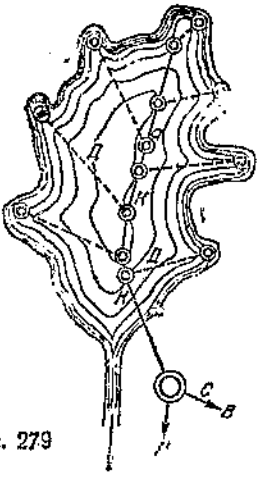


Рис. 279

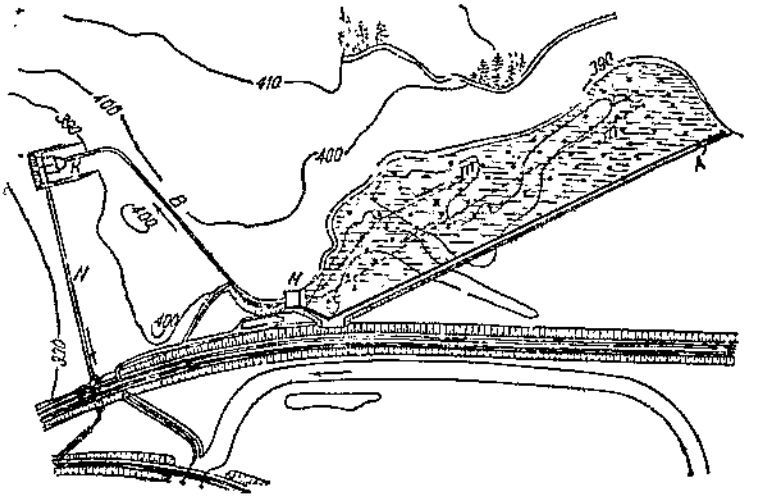


Рис. 280

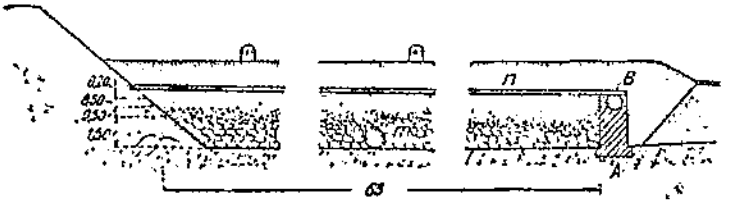


Рис. 281

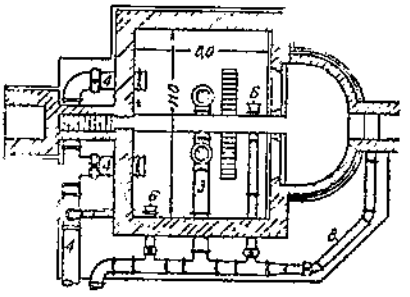


Рис. 282

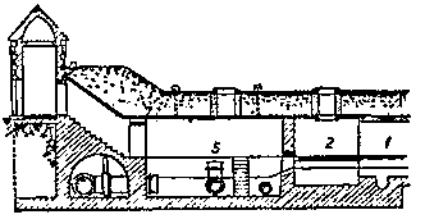


Рис. 283

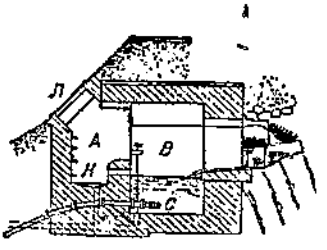


Рис. 284

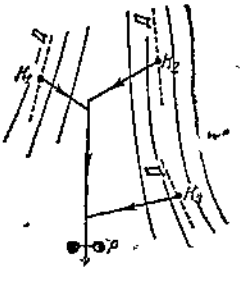


Рис. 285

онного устройства камеры не предусмотрено; предполагается, что вентиляция производится путем открывания люка *Л*.

Если ключевая вода выходит на склоне сплошным потоком, то для наиболее полного захвата последнего укладываются (рис. 285) горизонтальные дырчатые водосборные трубы *Д* или устраиваются каменные проходные галлереи с отверстиями в стенках.

По этим водосборам вода направляется в ключевые камеры $К_1$, $К_2$, $К_3$, а из них по самотечным линиям поступает в общий сборный резервуар *Р*. На рис. 286 приведен пример ключевой камеры. Здесь: *Б* — приемное отделение камеры, *а* — горизонтальный водосбор, *в* — самотечная линия, *к* — холостой выпуск, *д* — водослив, *е* — вентиляционная труба, *и* — входная дверь. Размеры ключевой камеры должны быть достаточны для размещения оборудования и удобного обслуживания ее человеком. Ширина камеры должна быть проверена по требуемой ширине водослива, рассчитанного на пропуск наибольшего расхода ключевой воды. Иногда, кроме того, размеры камеры определяют по условию выпадения здесь песчинок, выносимых водой из водоносного горизонта.

Каптаж ключей в районах вечной мерзлоты. Ключи здесь, постоянно действующие, представляют собой выход подмерзлотной воды с положительной температурой 0,5—3°, имеющей весьма малые колебания. Выходы ключей встречаются в разнообразных условиях рельефа: в руслах рек, в долинах, на склонах гор и даже на их вершинах. В летнее время выходы эти маскируются каменными россыпями, торфом, мхами; в зимнее же время ключи непосредственно у своих выходов или на некотором от них расстоянии образуют наледи[1] (рис. 287). Необходимо иметь в виду характерную особенность таких выходов, их нередкую миграцию (перемещение) в течение года; последняя объясняется тем, что подмерзлотная вода в летнее время выходит в аллювиальные отложения, протаянные до некоторой глубины (рис. 288), стекает в пониженные точки и при благоприятных условиях находит себе выход. В зимнее же время при перемерзании аллювиальных отложений подмерзлотная вода находит себе другой выход, иногда на значительном расстоянии от летнего.

На рис. 289 показан каптаж ключа, выходящего из каменной россыпи; на площадке выхода 18 × 15 *м* выбран грунт, очищен от илистых частиц и снова положен в выемку. В центре площадки устроен бревенчатый колодец, из которого вода поступает в самотечный водовод, подогревается паром котла, установленного в особой будке, и направляется к месту потребления.

Нередко каптаж устраивается при помощи деревянных галлерей типа, приведенного ранее на рис. 267.

§ 63. Шахтные воды

При рассмотрении вопросов получения и использования подземных вод особо стоит вопрос о шахтных водах. Под ними понимают подземные воды, притекающие в шахты выработок полезных ископаемых. Количества этих вод, притекающие в разные шахты, ввиду разнообразия естественно исторических и гидрогеологических условий их расположения и степени разработки весьма различны, изменяясь в пределах от 5 до 150 *л/сек*, а иногда и больше. Общий дебит шахтных вод в отдельных районах может быть весьма велик и выражаться кубометрами в секунду. Обычно они сбрасываются в поверхностные водотоки и играют заметную роль в стоке; иногда они в небольшой степени используются для орошения земель.

[1] Иногда вблизи ключевых выходов — проталины; обычно они встречаются в местах, которые хорошо защищены от ветров деревьями, кустарниками.

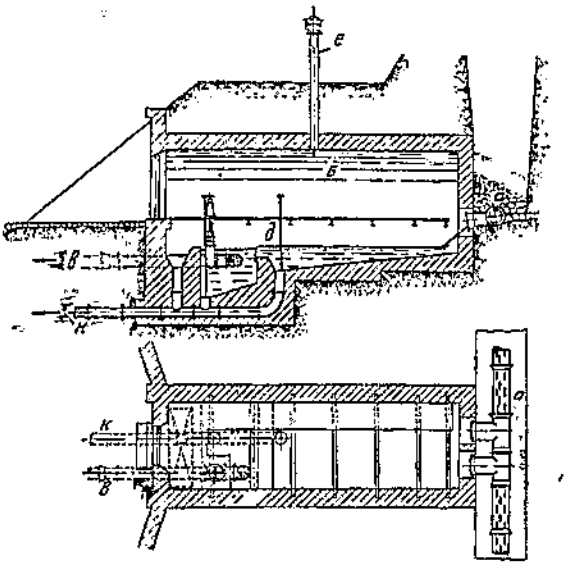


Рис. 286

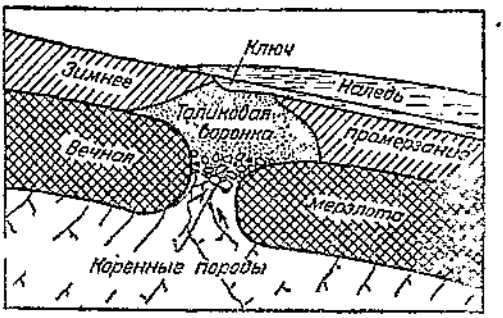


Рис. 287

Рис. 288

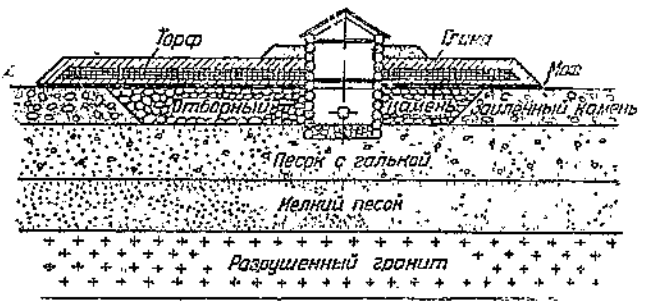


Рис. 289

Для водоснабжения эти воды используются пока слабо, хотя в местностях, бедных водоисточниками, могли бы иметь большое практическое значение.

Для целей водоснабжения в основном могут быть использованы воды угольных шахт. Такие воды загрязнены обычно 1) угольной пылью и другими минеральными примесями, 2) отбросами работающих в шахтах людей и лошадей. Вследствие этого количество бактерий в шахтных водах может быть значительно — до нескольких сотен тысяч в 1 *см*³ и даже более, при этом coli-титр может достигать 0,1 и менее. Прозрачность воды нередко ничтожна, например, 0,5 *см* по шрифту. Сухой остаток примерно 500—2 000 *мг/л*, но иногда и значительно выше — до 6 500 *мг/л*. Жесткость воды часто достигает 50—200° и только в некоторых случаях оказывается равной 15—30°. Обычно шахтные воды используются только для технических целей промышленных предприятий, да и то лишь тех, для которых качество воды, в частности, жесткость, значения не имеют, например, для гидрозолоудаления на тепловых электрических станциях и т. п.

В районах, даже мало дефицитных по воде, признают в отдельных случаях целесообразным подвергать шахтные воды довольно сложной обработке и использовать потом для технических целей там, где качество воды имеет уже важное значение, например, в водоснабжении электростанций. Иногда шахтные воды после их очистки, умягчения и хлорирования используются для таких санитарно-хозяйственных потребителей, как бани, души, прачечные.

§ 64. Искусственные подземные воды

Пусть имеется (рис. 290) песчаный водопроницаемый пласт *P*, лежащий на водонепроницаемом. Если в первом из них устроить бассейн и наполнить его водой из какого-нибудь близлежащего источника поверхностной воды, то она будет медленно просачиваться через дно бассейна и далее через песчаный водоносный слой. Если теперь в некотором расстоянии от бассейна *l*, измеряемом сотнями метров, устроить захват просачивающейся воды при помощи колодцев *K*, то последние будут давать искусственно приготовленную подземную воду. Вообще схема получения такой искусственной подземной воды может быть представлена по рис. 291.

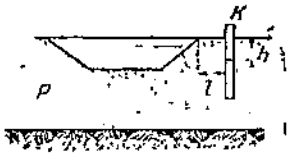


Рис. 290

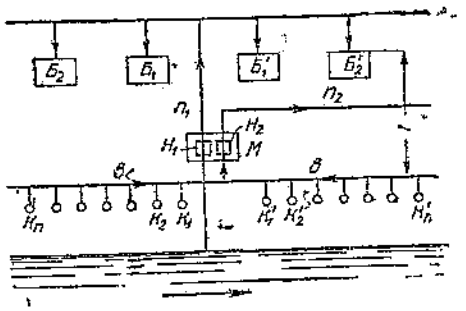


Рис. 291

Вблизи открытого источника устраивается насосная станция *M*, насосы которой H_1 накачивают по трубам n_1 воду в фильтрационные бассейны $Б_1$, $Б_2$,... Просачивающаяся через песок и стекающая в водоносном пласте по направлению естественного ската к источнику вода перехватывается рядом колодцев K_1, K_2,..., K_n, устроенных на расстоянии *l* от бассейнов.

Из колодцев вода забирается насосами H_2 при помощи всасывающих труб *b* и подается по трубам n_2 к местам потребления.

По мере работы бассейнов на дне их образуется пленка, состоящая из выделившихся из воды взвешенных примесей; такая пленка

мало-по-малу утолщается. В связи с этим увеличиваются сопротивления движения воды, и производительность устройства падает. Тогда производят очистку бассейнов, снимая их верхний загрязненный слой песка.

Для удлинения промежутка времени между каждыми двумя последовательными чистками бассейнов целесообразно речную воду, до подачи ее в бассейны, пропускать через сетки.

Надо заметить, что, к сожалению, далеко не всю воду, которая подана в бассейны, удается собрать колодцами; часть ее, иногда довольно значительная (до 75%) при недостаточно рациональной системе водосборов, может обходить колодцы, не попадая в них. Несмотря на этот недостаток подземная вода представляет не малый интерес в деле водоснабжения населенных мест и промышленных предприятий, так как по своим качествам она значительно лучше воды поверхностной в температурном отношении и по бактериальному составу. Прозрачность ее — практически полная; по химическому составу она нередко даже лучше природной подземной воды.

При большом загрязнении речной воды ее до подачи в инфильтрационные бассейны подвергают иногда отстаиванию в открытых отстойниках, с водонепроницаемыми днищами и стенками. Мало того, в отдельных (редких) случаях между отстойниками и фильтрационными бассейнами устраивают «предварительные» бассейны для дополнительного осветления воды.

§ 65. Изменение дебита и качеств получаемой воды. Искусственное увеличение количества подземных вод

Падение дебита колодцев и борьба с ним. Падение дебита колодца может происходить при засорении его фильтра частицами эксплоатируемой водоносной породы. Борьбу с этим явлением ведут путем периодических чисток фильтра, для чего предложено немало различных приборов. В некоторых из них основным элементом является поршень; последний опускают в колодец и дают ему порывистые толчкообразные движения вверх и вниз. При поднятии поршня в колодце образуется пониженное давление, и тогда подземная вода с увеличенной скоростью устремляется в колодец; наоборот, при движении поршня вниз последний производит давление на столб воды в колодце, которая может с большой скоростью проникать через отверстия сетки в водоносный слой. На рис. 292 приведен для примера один из таких поршней: здесь: *А* — дерево, *Б* — кожа, *С* — сталь.

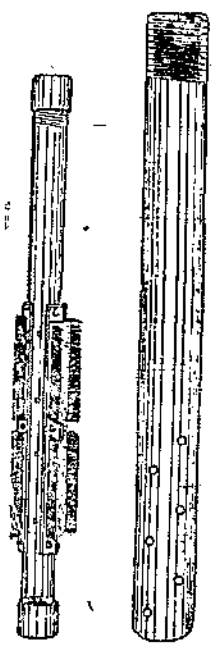


Рис. 293

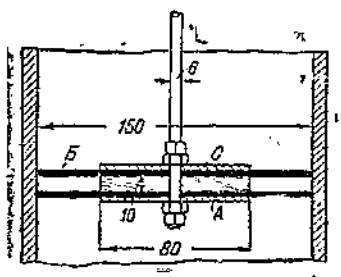


Рис. 292

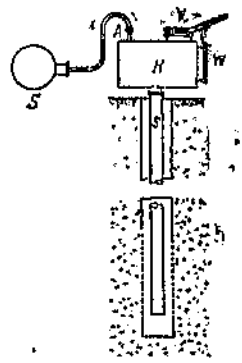


Рис. 294

Чистка фильтра может производиться промывкой его при помощи перфорированных трубок, в которые подается вода под давлением (рис. 293).

На рис. 294 показан промывочный прибор, представляющий собой металлический ящик *K*, имеющий стеклянную водомерную трубку *W* и клапан *V*; он насаживается на всасывающую[1] трубу *S* колодца и гибким шлангом присоединяется к сборному трубопроводу системы водосборов. Наполнив ящик водой, открывают краник *A* у шланга; затем закрывают его и быстро открывают клапан *V*; тогда вода из ящика устремляется в колодец, производит удар на стенки его и окружающий его грунт.

Отметим, наконец, удачное применение в США твердой углекислоты, при введении которой в воду колодца отдельными порциями происходит бурное образование газообразной CO_2 и значительное увеличение давления на воду, в результате этого фильтр хорошо промывается.

На сетке фильтра может образоваться прочная корка из солей кальция и железа, выделяющихся из воды.

Для удаления такой корки за границей пользуются раствором соляной кислоты, концентрацию которого берут различной. Раствор подают в нижнюю часть фильтра (рис. 295) по резиновому шлангу диаметром 19—25 *мм* с грузом на конце. Соляная кислота растворяет соли корки[2]. При большой длине фильтра очистку его ведут постепенно: после очистки нижней части ее засыпают песком и таким же порядком продолжают работу далее; удаление песка производят желонкой. Расход соляной кислоты зависит от диаметра фильтра и его длины. Понятно, что применение этого способа допустимо лишь для фильтров из кислотоупорных материалов. Кроме того, работа должна вестись очень осторожно, опытным персоналом.

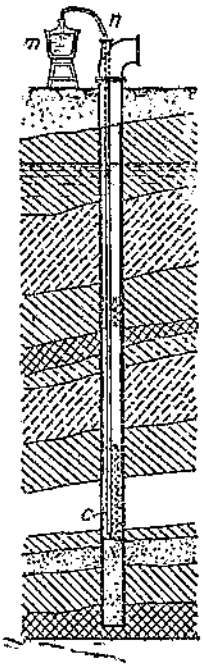


Рис. 295

Важно соблюдение ряда условий, а именно:

1) Применяемая соляная кислота не должна содержать мышьяка.

2) Выделяющейся при работе углекислоте должен быть обеспечен свободный выход.

3) Во избежание отравления рабочих операцию очистки надо вести не из шахты колодца, а прямо с поверхности земли.

4) При наличии ряда колодцев очищаемый колодец должен быть отключен задвижкой.

5) Рабочие места должны быть обеспечены средствами против ожогов рабочих.

6) Необходимо проведение соответствующих мероприятий, обеспечивающих подачу потребителям качественной воды.

Выделяющиеся из воды соли могут не только закупоривать фильтр колодца, но и цементировать пески, слагающие водоносный слой, и тем значительно уменьшать, а иногда и вовсе прекращать приток подземной воды в колодец. Такая цементация может распространяться на несколько метров в стороны от колодца; ликвидация ее весьма затруднена, и целесообразнее переносить колодец на новое место.

Значительное уменьшение дебитов колодцев имеет место в тех случаях, когда вода из эксплоатируемого горизонта уходит в другие горизонты, не используемые, например, из-за плохого качества в них

---

[1] Не имеющую на конце клапана.

[2] $CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2 + H_2O$;
$FeCO_3 + 2HCl = FeCl_2 + CO_2 + H_2O$.

воды; это может иметь место при проржавлении обсадных труб в зоне таких горизонтов, после землетрясений и т. д. В приморских районах старые трубчатые колодцы иногда теряют прекрасную по качествам напорную воду нижних горизонтов, изливая ее в верхний морской горизонт через отверстия в разрушившихся обсадных трубах, ранее хорошо закрывавших этот горизонт. Такие колодцы должны закрываться тщательным тампонированием.

Для этого следует, например, заполнить колодец цементным раствором в мешочках (приблизительно по 1 *кг*) или же глиной с галькой в мешочках; верхнюю же часть колодца на глубину 5,0—10,0 *м* заливают жидким цементным раствором. Кроме того, над устьем колодца кладут бетонную плиту толщиной 0,15—0,25 *м* для того, чтобы предупредить скопление над колодцем поверхностных вод и отметить точку бывшего колодца. При наличии нескольких колонн обсадных труб желательно выяснить возможность извлечения их на поверхность земли; такая операция удается не всегда из-за происходящих разрывов труб и пр.; междутрубные пространства заливаются цементным раствором с предварительной их прочисткой (если таковая оказывается осуществимой). Если же обсадные трубы удается извлекать, то отмеченный выше тампонаж производят постепенно по мере подъема труб, чтобы предупредить завал колодца горной породой.

Значительное падение дебитов колодцев может быть в районах горных разработок, где шахты, проводимые иногда на большие глубины, дренируют подземные воды, отвлекая их к себе.

Ухудшение химических качеств получаемой воды. Причиной ухудшения химических качеств подземной воды (иногда весьма значительного) может быть осушение грунтов депрессионными воронками водосборов.

Как яркий пример этого справедливо приводят известную бреславльскую «марганцевую катастрофу» 1906 г. Водосбор водоснабжения Бреславля состоял в свое время из 617 колодцев, заложенных в низменности рек Оле и Одера; они получали воду из аллювиальных отложений, прикрытых сверху отложениями ила, содержавшего перекись марганца и железо. Изысканиями были установлены хорошее качество воды, однако с повышенным содержанием железа (до 6,0 *мг/л*), и возможность получения значительных ее количеств, до 60 000 *м³/сутки*. Но уже в течение первого года эксплоатации при откачке лишь 40 000 *м³/сутки* содержание железа в получаемой воде увеличилось до 20 *мг/л*. Весной 1906 г. водосбор был затоплен паводковыми водами Одера, после чего содержание железа поднялось до 80—40 *мг/л* (в разных колодцах), кроме того, появился марганец в количестве до 20 *мг/л*, в результате чего вода оказалась совершенно непригодной для водоснабжения.

Катастрофа эта объясняется обычно тем, что при откачке воды из водоносного горизонта и образовании депрессии в осушенные за счет последней верхние слои поступил воздух; благодаря этому имевшееся там сернистое железо было превращено в железный купорос с выделением серной кислоты, которая с перекисью марганца дала[1] сернокислый марганец, растворимый в воде.

Показательный пример дают Мытищинские водосборы московского водоснабжения в виде колодцев, заложенных в районе со следующим геологическим строением: залегающие внизу юрские глины покрыты (местами) песками волжского яруса; выше идут: водоносная гравелистая толща, пески, глины и, наконец, торфы.

В первые периоды действия водосборов химический состав получавшейся воды не имел резких изменений. Но затем, когда с ростом

[1] $2FeSO_4 + MnO_2 + 2H_2SO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + MnSO_4 + 2H_2O$.

водопотребления была увеличена откачка воды из района, указанные торфы частично были осушены, а химический состав воды существенно изменился, как это видно из табл. 31 среднегодовых данных.

Таблица 31

Год	Сухой остаток	Окись кальция CaO	Окись магния MgO	Хлор Cl	Серный ангидрид SO_3	Жесткость общая в нем. градусах
1898	215,6	76,0	15,9	3,4	18,4	9,80
1899	256,4	83,1	17,0	3,8	25,0	10,61
1900	276,7	94,3	17,8	3,5	33,8	11,70
1901	277,0	93,0	18,9	3,3	36,0	11,95
1902	288,8	98,8	19,6	3,1	41,3	12,60
1903	321,3	112,5	21,6	3,3	57,9	14,22
1904	339,1	111,4	21,0	3,4	59,8	14,10
1905	373,9	123,7	33,6	3,9	79,8	15,97
1906	442,0	143,2	30,7	4,2	106,3	18,62
1907	439,8	145,1	29,6	3,9	91,0	18,65
1908	462,9	158,6	31 2	4,0	107,3	20,24
1909	469,8	166,0	35,0	4,5	110,7	21,52
1910	501,7	172,6	31,5	5,1	116,3	21,66
1911	486,0	161,8	29,7	4,9	108,9	20,82
1912	480,6	157,2	29,6	4,2	103,6	19,87

Исследования, проведенные в районе водосборов, позволили очертить в плане границы заминерализованной воды, которые показали, что зона жесткой воды идет от частично осушенных торфов. Анализы последних, а также анализы воды в них и, наконец, лабораторные исследования вопроса образования серного ангидрида в торфах при доступе воздуха показали, что проникший в торфы при осушке их депрессионными воронками воздух произвел окисление сернистых соединений торфов, в результате чего растворимые сернокислые соли и поступали с потоком подземной воды в колодцы водосборов.

В районах морских побережий качества получаемой подземной воды могут ухудшаться в смысле значительного увеличения содержания в ней хлоридов, за счет подсасывания морской воды при усиленной откачке из водосборов; содержание хлоридов может при этом колебаться в зависимости от отливов и приливов моря; в периоды последних может итти нарастание хлоридов в получаемой воде, и наоборот.

Отмеченный процесс засоления обладает обратимостью при уменьшении интенсивности откачки, но для этого может требоваться большой период времени (иногда несколько лет), так как раз начавшееся засоление может продолжаться еще в сторону увеличения, несмотря на уменьшение откачки воды из захватных сооружений.

Об этом судят иногда по работе одного из водосборов близ г. Бруклина (Англия) с колодцами (глубиной 56—60 *м*), получающими воду из песков, залегающих на глубине 42 *м* под глинами. До 1897 г. суточная откачка из колодцев составляла — 15 000 *м*³ при содержании NaCl в получаемой воде около 4,5 *мг/л*. Весной 1898 г. откачка была увеличена до 22 500 *м*³/*сутки*, в связи с чем содержание NaCl начало расти; далее откачка воды уменьшалась постепенно до 4 000 *м*³/*сутки*, но, несмотря на это, содержание NaCl в воде продолжало увеличиваться и к 1902 г. поднялось до 500 *мг/л*. Таким образом наибольшее содержание NaCl оказалось лишь после четырех лет наиболее интенсивной откачки. В 1903 г. откачка была уменьшена до 2 000 *м*³/*сутки*, и только после этого содержание NaCl стало падать.

Искусственное увеличение дебита отдельных колодцев. К искусственному увеличению дебита отдельных трубчатых колодцев прибегают иногда в случаях получения ими воды из трещиноватых горных пород — гранитов, песчаников, и т. п.

При нахождении колодца в области слабой трещиноватости таких пород дебит его мал, но может быть увеличен значительно (в 2—5 и даже 10—20 раз и даже еще более) путем так называемого торпедирования, которое вызывает образование новых многочисленных трещин в области питания колодца и тем самым усиляет приток к нему воды.

При такой работе требуются следующие операции: а) разрушение горной породы посредством торпеды с зарядом аммонала или, что лучше, динамита с запалом при помощи электродетонаторов: заряд аммонала в пределах 5—50 *кг* в зависимости от гидрогеологических условий и диаметра колодца; б) извлечение разрушенной породы и остатков торпедной оболочки желонками и буровыми ловильными инструментами; в) промывка колодца усиленной откачкой воды.

При большом масштабе работы требуется несколько торпед, которые опускаются последовательно.

После взрывов могут происходить выбросы кусков разрушенной породы из колодца на большую высоту; поэтому необходимы соответствующие меры по охране рабочих и оборудования.

Для получения лучшего эффекта работ важно предварительное определение водоносности — трещиноватости пород, для чего может с успехом применяться метод электрокарротажа.

Искусственное увеличение количеств подземных вод. Один из способов искусственного увеличения дебита подземных вод основан на устройстве подземных водохранилищ при помощи подземных плотин. Сущность его видна из рис. 296; нормально к потоку подземной воды с максимальным статическим уровнем *ab* устраивается плотина *W*, закладываемая основанием своим в водонепроницаемом пласте *N*; она обеспечивает подпор подземного потока с поднятием уровня его до линии *ad*. Во избежание ухудшения качеств подземной воды наивысшая отметка *d* подпертого уровня не должна подходить очень близко к дневной поверхности. Отмеченное устройство может быть допускаемо при условиях: 1) особо тщательного установления зон санитарной охраны и 2) отсутствия опасности потери подземных вод в обход плотины в виде дериватов. Примеры рассматриваемых сооружений имеются в СССР и за границей (Турция и др.).

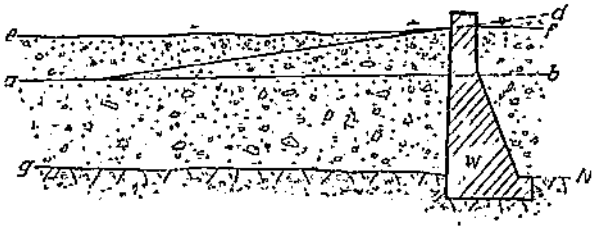


Рис. 296

Искусственное увеличение водоносности подземных потоков может быть достигаемо путем усиления их питания поверхностными водами; последние собираются тогда в специально устраиваемых водохранилищах небольшой глубины и затем постепенно инфильтруются в подстилающие водоносные пласты. В некоторых случаях такие водохранилища к зиме срабатываются почти полностью, ложе их растрескивается, а это способствует тому, что при стоке поверхностных вод в водохранилище они ускоренно проникают в водоносные пласты. Возможны, понятно, случаи заиления ложа водохранилищ; тогда необходима бывает борьба с этим явлением.

Рассматриваемый способ искусственного увеличения количества подземной воды получил широкое распространение за границей, главным образом, в США.

В СССР этот способ не получил еще распространения, хотя и намечался для нескольких случаев.

Несколько видоизмененный (по сравнению с описанным) способ увеличения дебита подземных вод состоит в замедлении поверхностного стока путем устройства в бассейне их питания небольших дамб—плотинок высотой порядка 0,5—1,0 *м*. Пример этого дает водоснабжение г. А, где таким путем удалось увеличить отбор подземных вод примерно в 3,5 раза (до 370 *м*³/*сутки* против 100). Здесь же можно отметить увеличение количества подземных вод за счет гидромелиоративных мероприятий, а также путем снегонакопления. Удачные опыты в этом направлении были начаты в свое время для усиления питания ключей в Ялтинском районе путем накопления снега на Крымской Яйле.

Для искусственного увеличения дебита напорного водоносного горизонта поверхностным стоком последний приходится направлять в этот горизонт при помощи поглощающих колодцев или в места выхода его на дневную поверхность с созданием здесь водохранилища. При этом колодцы устраиваются не очень далеко от захватных водосборов и проходят через водонепроницаемую толщу, которая перекрывает напорный горизонт.

Если поглощающий колодец устроен полным (рис. 297), то количество $q_п$ инфильтрующейся воды может быть определено по формуле:

$$q_п = \frac{2{,}73ak(H_к - H_a)}{\lg \frac{R_a}{r}}.$$

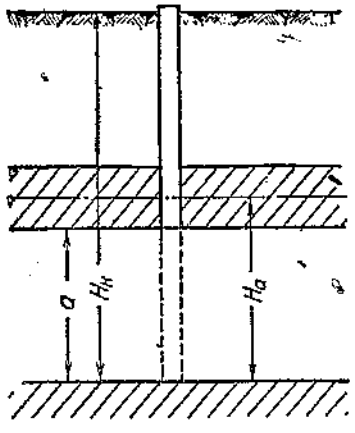


Рис. 297

Здесь

a — толща водоносного слоя;
k — коэфициент фильтрации;
$H_к$ — высота слоя воды в колодце;
H_a — высота от низа колодца до статического уровня воды;
r — радиус колодца;
R_a — радиус его действия.

Если же колодец устроен неполным (рис. 298), то

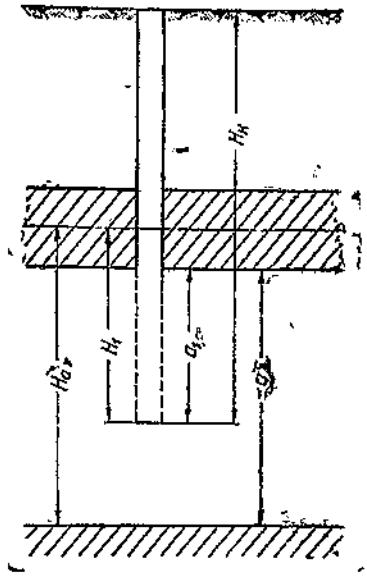


Рис. 298

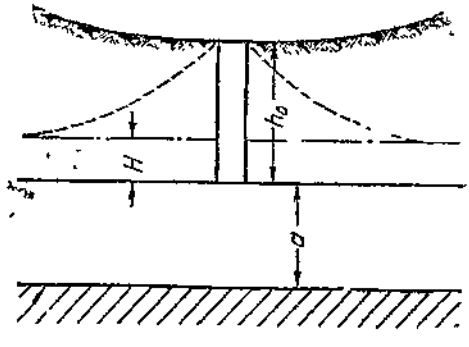


Рис. 299

$$q_п = \frac{2{,}73ak(H_к - H_1)}{\lg \frac{R_a}{r}} \left(1 + 7\sqrt{\frac{r}{2a}} \cdot \sqrt{\frac{a_1}{a}} \cos \frac{\pi a_1}{2a}\right).$$

Если, наконец, колодец доведен своей подошвой только до водоносного слоя и не заглублен в него, то q_n может быть определено ориентировочно по формуле (рис. 299):

$$q_n = \pi k r \left(1 + \frac{2a}{H}\right)(h_0 - H).$$

Глава X

ВОДОЗАБОРНЫЕ СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ

§ 66. Выбор места расположения речных водозаборных сооружений

Правильный выбор целесообразного места расположения водозаборных сооружений может быть сделан при учете большого и сложного комплекса различных условий.

Из них прежде всего отметим качества забираемой воды. При устройстве хозяйственно-питьевых водоснабжений особое значение получает санитарная сторона дела, а потому место для водозаборных сооружений должно выбираться в зависимости от наличия выше по течению реки источников ее загрязнения, от ее способности к самоочищению и реальной возможности установить зону санитарной охраны. Было бы ошибочно предполагать, что при заборе воды для технических целей нет надобности считаться с ее качествами. Здесь не малое значение могут иметь физико-химические качества воды, а в некоторых случаях и биологические.

Забор воды следует производить у вогнутого берега, который по сравнению с выпуклым имеет существенные преимущества с точки зрения меньшей заносимости наносами и наличия больших глубин рек. Расположение водозабора у вогнутого берега имеет свои недостатки. Этот берег — размываем, а потому следует предусматривать необходимые берегоукрепительные работы на соответствующем протяжении; в некоторых случаях эти работы весьма значительны по масштабу и стоимости. Ледовые условия у вогнутого берега часто бывают гораздо тяжелее, чем у выпуклого.

В отдельных случаях, когда вода в реке движется всегда с малыми скоростями и несет очень малое количество наносов, вопрос о преимущественном расположении водозабора у вогнутого или выпуклого берега может и не иметь значения с точки зрения отмеченных явлений.

Место расположения водозабора должно быть наименее опасным в отношении глубинного льда — донного льда и шуги[1]. С этой точки зрения забор воды следует производить на плесовом участке реки, а не на перекате; от последнего место расположения водозабора необходимо относить возможно ниже. Так как весьма опасными в отношении глубинного льда являются незамерзающие участки реки, так называемые полыньи, расположения водозаборных сооружений не только на этих участках, но и ниже их допускать не следует; при неизбежности устраивать водозабор ниже полыньи надо иметь в виду возможность искусственного ее замораживания.

Водозабор следует располагать на участке, безопасном в отношении нагромождения поверхностного льда.

Водозабор должен быть удален вниз по течению от мест впадения в реку овратов, речек и пр., которые могут выносить большие, а иногда и значительные количества отложений и заносить ими водоприемные устройства.

---

[1] См. курсы гидрологии и гидротехнических сооружений.

Участок берега реки у места расположения водозабора по своим размерам и гидрогеологическим условиям должен быть рационален для размещения на нем головных сооружений водоснабжения с учетом возможности их расширения в будущем.

Место водозабора и связанных с ним других головных сооружений необходимо выбирать с учетом достоинств и недостатков возможных трасс водоводов к объекту водоснабжения. В соответствующих случаях место водозабора должно удовлетворять требованиям судоходства и лесосплава. При выборе мест расположения водозаборных сооружений на устьевых участках рек, впадающих в моря, необходимо учитывать приливы в последних, учитывать сгоны и нагоны воды при ветрах.

С точки зрения МПВО водозаборы должны отстоять на 300—500 *м* как минимум от таких объектов возможного воздушного нападения противника, как электростанции, склады горючего, сооружения и устройства оборонного значения. На большие расстояния приходится удалять водозаборы от таких ориентиров, как железнодорожные и другие мосты и т. п. Место расположения водозабора должно допускать надежную маскировку головных сооружений водоснабжения возможно простыми и дешевыми средствами.

С точки зрения учета возможного применения противником ОВ водозаборы вместе с другими головными сооружениями должны располагаться на участках, достаточно хорошо продуваемых ветрами. В сейсмических районах при выборе места расположения водозаборов весьма важно избегать крутых косогоров, подножия холмов и т. п., так как при землетрясениях в 6—7 баллов и выше нередко наблюдались случаи оползней и как результат их перекосы и другие повреждения водозаборных сооружений [1].

§ 67. Элементы оборудования водоприемников

Решетки водоприемных отверстий

Для задержания из забираемой воды механических примесей крупного размера, плавающих тел и пр. приемные отверстия (устья труб, входные окна) снабжаются грубыми решетками. Решетка пред-

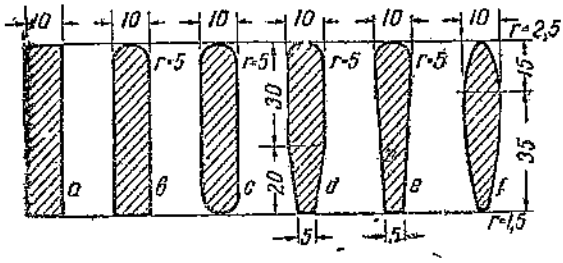


Рис. 300

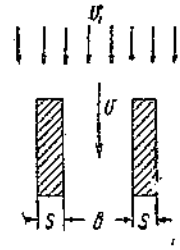


Рис. 301

ставляет собой металлическую или деревянную раму, внутри которой находятся металлические стержни круглого, прямоугольного или фасонного поперечного профиля (рис. 300). Рама имеет очертание по форме того отверстия, в котором она устанавливается. В соответствии с этим решетки бывают прямоугольные, квадратные, круглые, эллиптические. Если обозначить (рис. 301) через S толщину стержней решет-

[1] Кожинов В. Ф. Водопроводные сооружения в сейсмических условиях, ОНТИ, 1936 г.

ки, а через b — величину просветов между ними, то отношение $b : (S + b)$ представит собой коэфициент стеснения.

Величину b принимают порядка 200—100 *мм*, а иногда и меньше — 50 *мм*. Малые просветы решетки могут вызывать быструю закупорку ее задерживаемыми из воды загрязнениями, а кроме того, глубинным льдом. С этой точки зрения интересна практика некоторых гидростанций, которые меняют в периоды шугохода стоящие в обычное время решетки на решетки с крупными просветами. В эти периоды времени заменяют также металлические решетки деревянными, так как дерево обладает способностью противостоять образованию на нем глубинного льда. Согласно опытам гидрофизической лаборатории Государственного гидрологического института эту же способность имеют эбонит и каучук, которые могут служить для покрытия металлических стержней. Указанными опытами установлено также, что защитными материалами для металлических стержней против образования глубинного льда могут служить вещества типа красок и замазок — воск, асфальт в смеси с каменноугольной смолой, нефтяной битум № 3, смесь последнего с парафином [1].

Из сказанного понятно, что решетки водоприемных отверстий должны быть съемными.

Решетки с непрерывной механической очисткой

Для грубого процеживания воды в водозаборных сооружениях применяются решетки с малыми прозорами, имеющие приспособления для непрерывной механической их очистки.

Каждая такая решетка представляет собой (рис. 302) наклонно поставленные металлические листы[2] с щелевидными прорезями шириной порядка 3—5 *мм*. Очистка решетки производится вращающимися щетками из специальной растительной щетины, укрепленными на непрерывно движущихся цепях M, причем ширина щетки равна ширине решетки (рис. 303 и 304). Снятые с решетки щетками загрязнения падают на наклонный диск K и по нему сваливаются затем в отводный лоток A, откуда удаляются транспортером. Вращение цепи со щетками — от электромотора мощностью 2—3 *квт*. Очистка самых щеток от приставших к ним загрязнений производится также непрерывно — особой стальной щеткой C, укрепленной на валу O, который параллелен валам бесконечной цепи. Наконец, при помощи особого гребня $Д$ может производиться очистка щетки C.

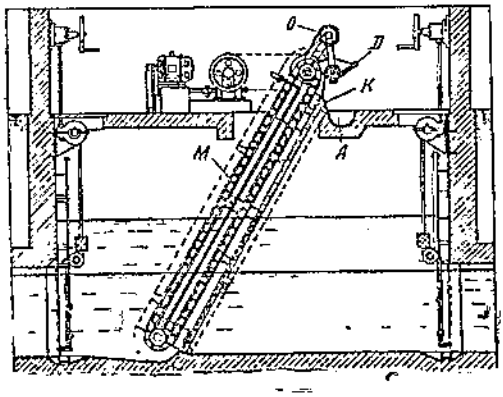


Рис. 302

Рассмотренные решетки занимают сравнительно мало места в водозаборных сооружениях и не требуют существенного увеличения их размеров. Однако при сильном загрязнении воды в источнике эффек-

[1] Обычные масляные краски не обладают заметно выраженной способностью противодействовать формированию глубинного льда.

[2] Ширина отдельных листов порядка 1,25—1,5 *м*; для образования большой решетки листы соединяются между собой на болтах. Скорость прохода воды через решетки (netto) около 0,25—0,3 *м/сек*. Формул для определения сопротивлений при проходе воды через решетку пока не имеется. Для ориентировочных расчетов возможно пользоваться теми же формулами, которые приводятся в справочниках для грубых входных решеток.

тивность решеток недостаточна, если не увеличить числа прозоров; все же и тогда они рациональны для предварительного процеживания воды перед вращающимися сетками, описание которых приводится

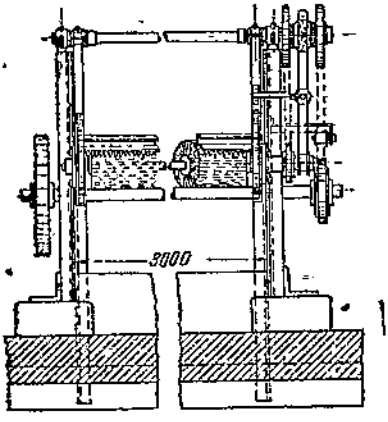


Рис. 303

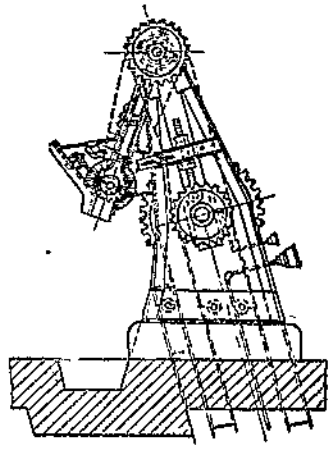


Рис. 304

ниже. Размещение решеток в водозаборных сооружениях бывает различным ввиду большого разнообразия в компоновке узлов водозаборов.

Сетки водозаборных сооружений

Для задержания из воды, прошедшей решетки, мелких примесей устанавливают сетки, которые могут быть двух типов — неподвижными или вращающимися.

Неподвижные сетки. Сетка представляет собой металлическую, реже деревянную раму, на которой натянуты (рис. 305) проволоки — медные, ла-

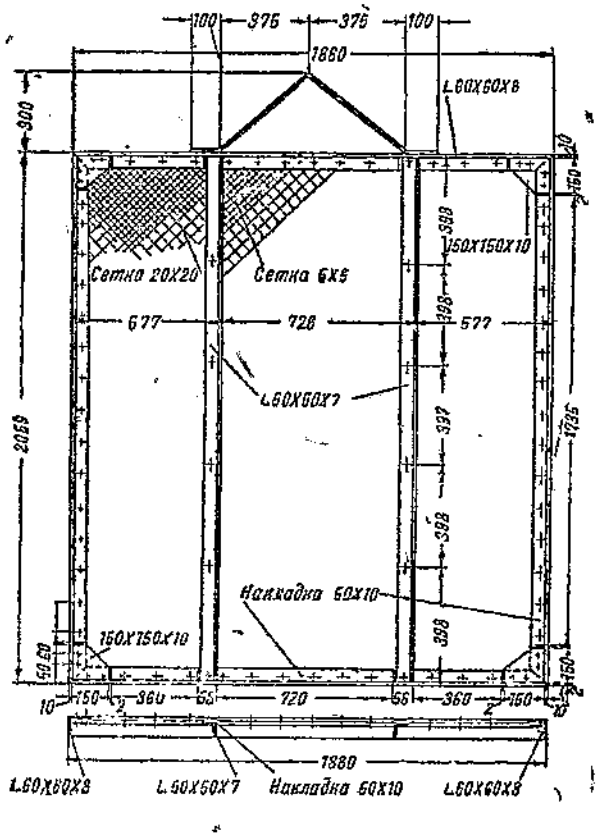


Рис. 305

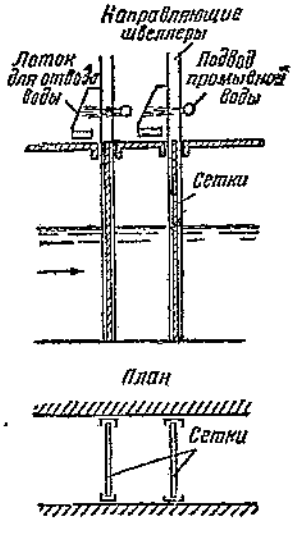


Рис. 306

тунные, оцинкованные[1]. Для выполнения операций по очистке решетка должна быть подъемной и перемещаться при помощи блоков в соответствующих пазах направляющих стоек (из швеллеров, уголков), укрепленных на стенках водоприемных устройств. При промывке сетки она (рис. 306) медленно поднимается кверху и на не подается вода, выбрасываемая под напором из перфорированной трубы; грязная вода отводится по желобу[2]. Для того чтобы процеживание воды не прерывалось, позади сетки устанавливается запасная. Во многих водоснабжениях практикуется упрощенный способ промывки; сетку поднимают к поверхности земли, вынимают из направляющих пазов, относят в сторону и подают на нее воду под напором из брандспойтов.

Если обозначить через S толщину проволок сетки, а через b — величину просветов между ними, то отношение $b^2:(b+S)^2$ называют коэфициентом стеснения. Обычно он бывает в пределах 0,40—0,55. Часто принимают $S=2$ *мм* и $b=5$ *мм*. Меньшую величину просветов берут редко, так как при грязной сырой воде 1) требуется очень частая промывка сетки и 2) возрастают сопротивления при проходе через нее воды.

Неподвижные сетки не вызывают существенного увеличения размеров водозаборных сооружений; это их достоинство. Недостаток их состоит в том, что при больших просветах они недостаточно процеживают воду. Между тем в водоснабжениях промышленных предприятий встречается необходимость тщательного процеживания. В отдельных случаях водоснабжений населенных мест может оказаться целесообразным такое процеживание перед отстаиванием и фильтрацией. Процеживание воды производится тогда при помощи вращающихся сеток, которые допускают промывку их без прекращения их действия (без подъема их кверху).

Вращающиеся сетки. Вращающаяся сетка представляет собой по существу бесконечное полотно, перекинутое через два горизонтальных вала — нижний и верхний. Полотно состоит из металлических рамок, на которых натянута сетка из проволочек — медных, латунных или из фосфористой бронзы. Толщина их примерно 0,2—0,5 *мм*, просветы же порядка 1,0—0,5 *мм* и даже менее, т. е. настолько малы, что сетку называют иногда фильтролентой. Ширина полотна до 2,0—2,5 *м*. Вращение сетки от мотора мощностью 2—3 *квт*. Скорость поступательного движения сетки 10—200 *мм/сек* в зависимости от загрязнения воды; чем последнее больше, тем и скорость больше, и наоборот. Очистка сетки — водой, которая подается струйками под давлением 2,0—4,0 *ат* через короткие сопла — спрыски, укрепляемые на промывочной водопроводной трубе. Расход промывочной воды различен; в больших установках он достигает 10 *л/сек* и даже больше, это зависит от многих причин, в частности от величины просветов сетки и скорости ее движения. Выбор целесообразных численных значений просветов и скорости в каждом частном случае представляет трудную задачу, особенно если загрязнение воды в источнике различно в разные времена года. Поэтому в некоторых установках практикуют смену полотна сетки при резком изменении качества воды и изменение скорости движения сетки при помощи специально устанавливаемой коробки скоростей; важно при этом обеспечивать возможность изменять скорость движения сетки без выключения ее из работы, т. е. без остановки ее мотора.

Некоторые исследователи не считают необходимым устанавливать коробку скоростей, полагая возможным работать сеткой с одной постоянной ее скоростью (например, в условиях водоснабжения тепловых

---

[1] Неоцинкованные сетки разрушаются очень быстро.

[2] Bergeron M. L., Prises d'eau et grilles de nettoyage pour usines élévatoires.

электростанций из Москва-реки — со скоростью 50 *мм/сек*). При этом эксплоатационный режим может устанавливаться таким образом, что в периоды паводков сетка работает непрерывно, в остальное же время, при сравнительной чистоте воды в реке только поворачивается раза два в смену на 2—3 оборота.

Сетка может пропускать большие расходы воды — до 1,5—2,0 *м*³/*сек*. В водоснабжениях значительного масштаба приходится устанавливать несколько параллельно работающих сеток. Каждая из них помещается в особой сеточной камере водозаборного сооружения. В узле водозаборных сооружений вращающиеся сетки могут располагаться различно — перед насосами первого подъема или за ними; первый (обычный) способ целесообразнее, так как при этом создаются более хорошие условия работы насосов. Для необходимого ремонта, демонтажа и пр. сетка или разбирается отдельными рамками или, что бывает редко, целиком поднимается из своей камеры при помощи системы блоков, которые ставятся над перекрытием камеры.

Сопротивление при проходе воды через сетку зависит от размеров отверстий сетки, коэфициента стеснения, степени и характера загрязнения сетки, скорости подхода воды, скорости поступательного движения сетки. Формул для определения этого сопротивления нет, а экспериментальные исследования произведены в совершенно недостаточном масштабе.

По нашему мнению, величину сопротивлений при проходе воды через сетку можно принимать порядка 0,30—0,15 *м*.

В очень редких случаях могут находить применение горизонтальные вращающиеся сетки. Тогда сетка представляет собой сетчатый цилиндр, в полость которого и подводится сырая вода с одного из торцов; другой же торец закрыт. Каркас цилиндра — из уголков, причем полки горизонтальных ребер, соединяющих ободы цилиндра, могут задерживать тяжелые примеси воды. Каркас покрывается отдельными листами с мелкими отверстиями; непрерывная промывка цилиндра производится из спрысков водой, которая подается под давлением.

Иногда сетка делается из двух цилиндров, помещенных один в другом; при сохранении габаритных размеров сетки рабочая ее поверхность существенно увеличивается.

Конструкций вращающихся сеток немало, да и самые сетки бывают разных типов.

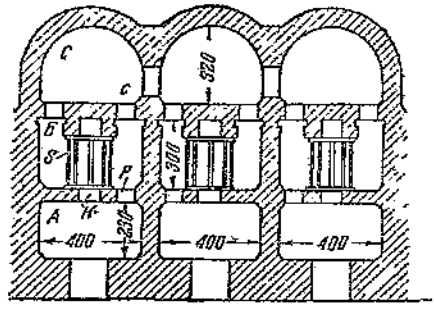


Рис. 307

На рис. 307 показана принципиальная схема установки вращающейся сетки внутреннего типа. Поступившая через входное окно водоприемника с решеткой сырая вода попадает в аванкамеру *А* и далее через окно *К* идет внутрь сетки, которая установлена по середине сеточной камеры *Б*, процеживается через оба движущихся поля сетки и через окна направляется в камеру *С*, куда опущены концы всасывающих труб насосов.

При сильном загрязнении сетки разность уровней воды *h* перед ней и за ней может возрасти столь значительно, что явится опасность выпучивания и даже прорыва полотна. Для предупреждения этого предусматривают устройство аварийного окна *Р* в стенке, которая отделяет аванкамеру от сеточной камеры. Окно это обычно закрыто и открывается (иногда автоматически), как только упомянутая разность уровней *h* достигнет наибольшей допустимой величины; тогда вода направляется в камеру *С* всасывающих труб, минуя сетку.

Открытие аварийного окна требуется также в случаях порчи мотора, приводящего сетку во вращение.

При наличии в системе водозабора нескольких параллельно работающих сеток считается нецелесообразным иметь при каждой из них

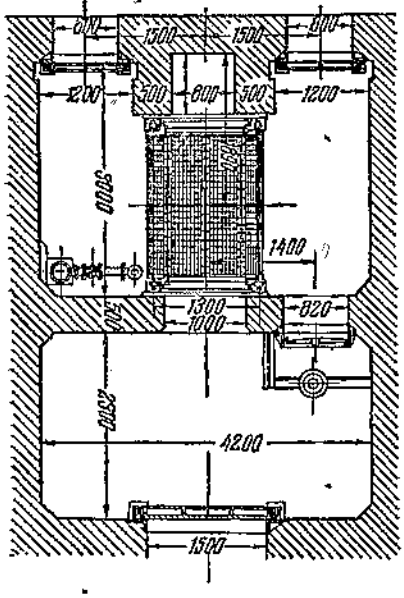


Рис. 308

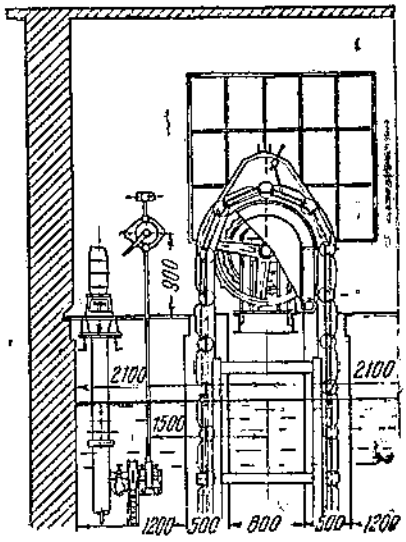


Рис. 309

аварийное окно с затвором. Признается достаточным иметь на 2—3 сетки одно окно с затвором ручного действия, но при этом необходимо предусматривать установку указателей уровня воды до и после сетки и дистанционных указателей.

На рис. 308—311 приведен пример сетки внутреннего типа. Она состоит из 62 отдельных рамок размерами по 1 780×415 *мм*. Сетка приводится в движение двумя зубчатыми колесами, имеющими по 8 зубцов особого профиля и насаженными на общий вал

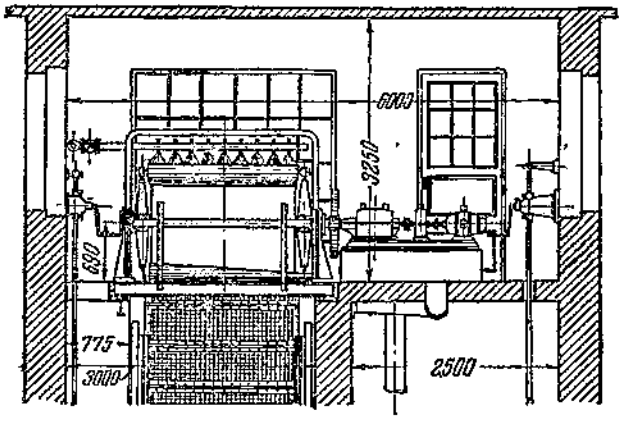


Рис. 310

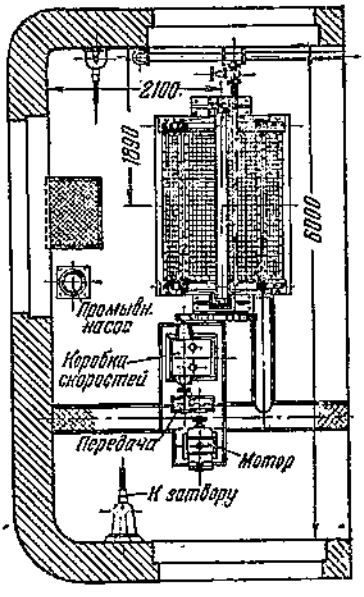


Рис. 311

диаметром 135 *мм*, который лежит на двух опорах — по обе стороны сетки. Электромотор сетки связан при помощи гибкой муфты с коробкой скоростей. Последняя имеет две ступени скорости и холостой ход. Перевод

сетки с одной скорости на другую производится рукояткой при выключенном моторе. Рядом с коробкой скоростей — редуктор, который состоит из четырех пар зубчатых колес и одной пары шестерен для непосредственного привода вала сетки. Для промывки сетки служит труба диаметром 50 *мм*, в которую вставлены девять спрысков на взаимных расстояниях 190 *мм* и укреплены при помощи пружин. В случаях когда для подвода промывочной воды под давлением требуется прокладка длинного трубопровода, около сетки устанавливается промывочный насос.

Недостатком сетки внутреннего типа является отражение струй входящей сырой воды стенкой, вследствие чего развиваются довольно заметные водовороты, которые снимают с полотна сетки приставшие к нему загрязнения и увеличивают потерю напора. Некоторое неудобство вызывают: а) необходимость устройства отводного грязе-

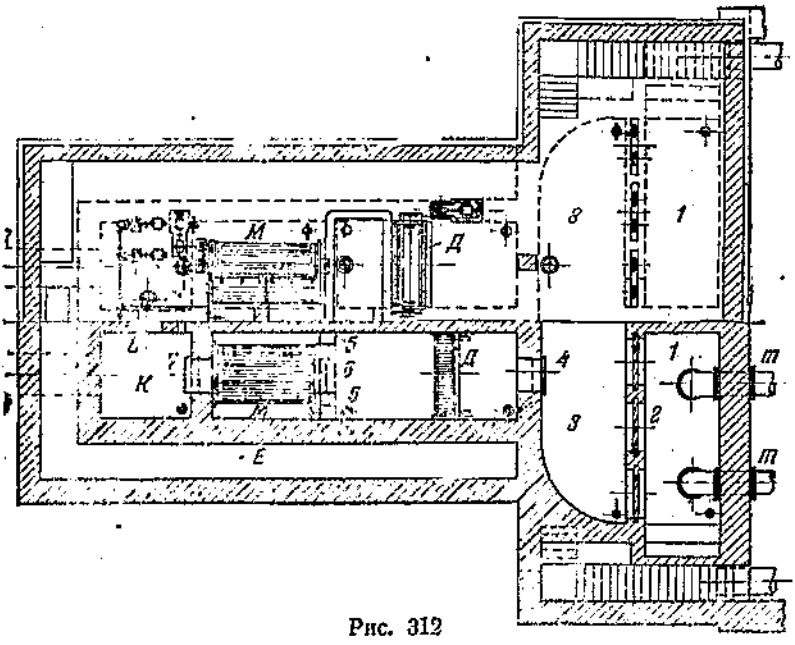


Рис. 312

вого лотка внутри сетки и б) необходимость периодического удаления из промежутка между полями сетки осадков, которые выделяются из процеживаемой воды.

На рис. 312 показана принципиальная схема установки вращающейся сетки внешнего типа. Здесь сырая вода через окно *5* направляется в сеточную камеру *М*, проходит сетку снаружи по потоку внутрь и через окно *7* процеженной поступает в камеру *К*, откуда уже отводится к насосам. Здесь также предусмотрено аварийное окно *6*. Промывка сетки производится водой через спрыски промывочной трубы, которая монтируется внутри сетки (рис. 313).

Вращающиеся сетки как внутреннего, так и внешнего типа требуют существенного увеличения размеров водозаборных сооружений и стоимости последних. Этот недостаток в слабой степени относится к сетке прямоточного типа.

Здесь вода (рис. 314) проходит последовательно два поля сетки — переднее и заднее; выйдя из слоя воды в своей камере, сетка с задержанными загрязнениями попадает под промывочные спрыски, пройдя зону этой промывки, сетка продолжает свое вращение уже очищенной и снова погружается в воду. Такая сетка не только дает возможность иметь

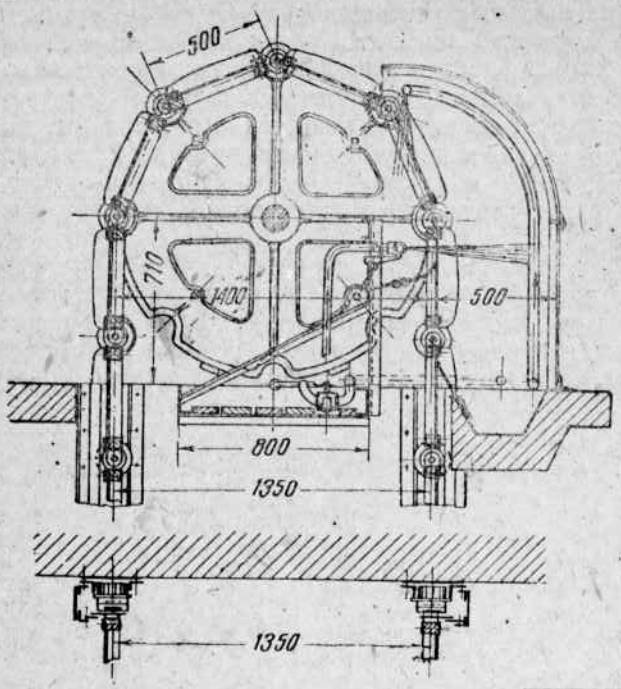


Рис. 313

более простое и компактное устройство водозабора, менее сложный монтаж, более удобный осмотр, но и более спокойный подвод сырой воды с меньшими сопротивлениями. Однако прямоточная сетка имеет тот недостаток, что процеживает воду в основном только одним своим полем.

Комбинированные установки вращающихся сеток с решетками. Такие установки встречаются за границей и у нас в тех случаях, когда промышленные предприятия требуют подачи очень хорошо процеженной воды при помощи вращающихся сеток, имеющих весьма малые ячейки[1]; для обеспечения надлежащей работы этих сеток перед ними устанавливаются решетки с непрерывной очисткой.

Примеры водозаборных сооружений с такими установками будут разобраны далее, здесь же отметим принципиальные схемы их. По схеме рис. 315 вода через грубые входные решетки *R* поступает в аванкамеру *A*, откуда через окна *a* и *b* идет к решеткам *P*, проходит их и, предварительно процеженная, направляется в камеру *M*; из последней через окна *c* и *d* вода поступает в сеточные отделения *B* с вращающимися сетками; пройдя их, вода направляется в камеру *N*, а из нее по самотечным линиям *K* в насосную станцию. При помощи затворов, которыми снабжены окна, и обходных каналов *e* и *f* можно регулировать движение воды таким

[1] В водоснабжениях больших электростанций, бумажных фабрик и др.

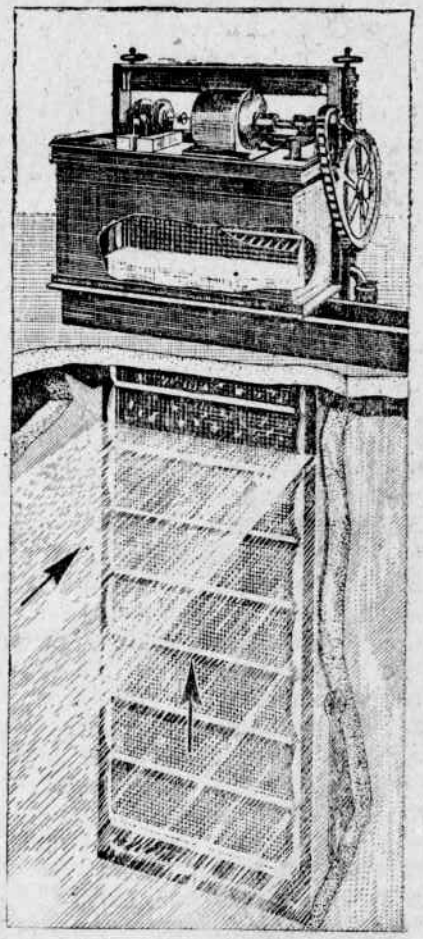


Рис. 314

образом, что при малом загрязнении сырой воды в источнике работают только решетки P; наоборот при сильном загрязнении воды необходим пропуск воды и через решетки P и через вращающиеся сетки; наконец, имеется возможность выключать из работы ту или иную решетку или сетку, а при достаточной чистоте воды пропускать ее прямо по каналам e и f в обход решеток или сеток.

На рис. 316 показана упрощенная схема установки без обходных каналов, а на рис. 317 — схема установки с одной только решеткой P и одной вращающейся сеткой B, но с обходным каналом $e-f$.

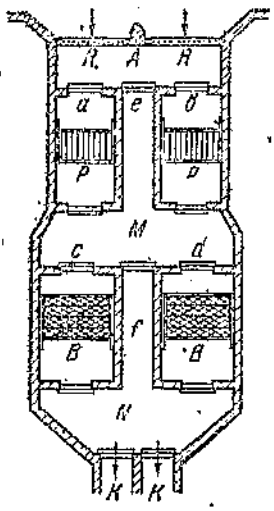


Рис. 315

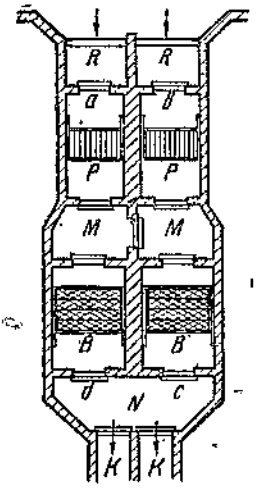


Рис. 316

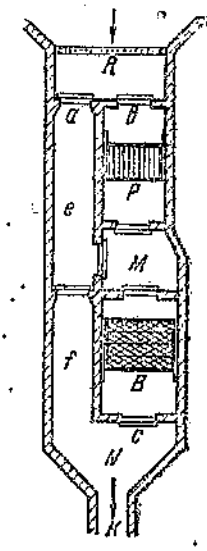


Рис. 317

Защита водоприемных устройств от закупорки глубинным льдом. Для рациональной борьбы с закупоркой глубинным льдом приемных отверстий водозабора чрезвычайно важно обеспечивать поступление в них воды с очень малыми скоростями, порядка 0,1—0,05 *м/сек*; чем интенсивнее происходит льдообразование в речной воде, тем скорость ее поступления должна быть меньше. Однако далеко не во всех случаях представляется возможным развивать площадь входных отверстий столь значительно, чтобы достигать указанных скоростей.

Борьбу с закупоркой приемных отверстий в настоящее время ведут иногда путем обогрева решеток этих отверстий электрическим током малого напряжения, порядка 50—150 *в*. Тогда решетки обращают в реостаты и изготавливают их из полосового или круглого железа. На рис. 318 приведен общий вид решетки — реостата с деревянной рамой из брусков. Как вверху последней, так и внизу пропущены прутья. На них надеты плотно пригнанные друг к другу фарфоровые изоляторы, по которым туго натянута лента из полосового железа или толстой проволоки.

Если количество воды, забираемое в час через решетки, обозначить через Q, $м^3$, степень подогрева в градусах Цельсия через t_n, то необходимое количество вводимого тепла W выразится через:

$$W = Q \cdot 1\,000 t_n \ ккал.$$

Это соответствует потребной мощности N в *квт*:

$$N = (Q \cdot 1\,000 t_n) : 860.$$

Число градусов подогрева принимают в расчетах равным 0,015—0,04 в зависимости от степени интенсивности льдообразования, а в особенно тяжелых случаях еще более.

Обозначим через R — сопротивление в омах решетки-реостата, определяемое в зависимости от общей длины полосового железа или проволоки, от поперечного сечения их, удельного сопротивления и пр.; V — напряжение в вольтах подводимого к зажимам реостата электрического тока. Тогда

$$I = \frac{V}{R}\ a.$$

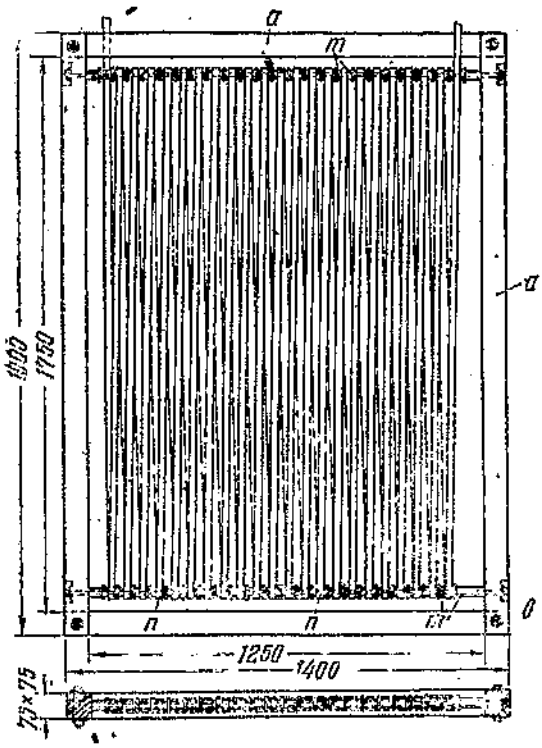


Рис. 318

В редких случаях вместо электрического тока пользуются паром. Если через g обозначить теплосодержание 1 *кг* пара, определяемое по таблицам пара, то потребный весовой расход пара G определится из выражения $G=(Q\cdot 1\,000\cdot t_n'):g$ *кг/час*, причем Q и t_n' имеют ранее указанные значения. Если принять для ориентировочных подсчетов $g=650$, то $G\approx 1{,}5\cdot Qt_n'$ *кг час*.

Расход пара — значителен, особенно если принять во внимание потери тепла при охлаждении трубопроводов, подводящих пар к водоприемным устройствам. Правда, расходование пара требуется лишь в течение некоторого небольшого числа дней в году. Периодичность работы паровых установок позволяет иметь их нестационарным.

Что касается применения теплой воды, то практически это может иметь место только в водоснабжениях тех промпредприятий, которые позволяют использовать сбрасываемую из цехов нагретую воду при отсутствии в последней вредных загрязнений.

Для защиты водоприемных устройств от шуги с успехом применяют плавучие ограждающие устройства в виде запаней. Запань состоит обычно из ряда звеньев, которые делаются из нескольких бревен или из деревянных фермочек. Между собой звенья соединяются тросами, которые воспринимают растягивающие усилия[1].

Запань должна иметь возможность свободных вертикальных перемещений при колебаниях уровня воды в реке. Нередко запань снабжается забральной стенкой, которая может погружаться в воду на различные глубины.

На рис. 319 показана для примера запань из шести бревен диаметром 18 *см*; по оси ее — сквозное отверстие для вертикальной подвижной забральной стенки в виде щитов, сколоченных из 37-*мм* досок на планках.

---

[1] При большой длине запани напряжение троса может быть значительным; тогда требуется закрепление запани в нескольких промежуточных точках, например якорями.

Отметим попутно так называемые коробы (рис. 320), которые по данным проф. Н. С. Макерова оказались удачными как средство против забивания шугой одного из водоприемников на р. Оби; они опу-

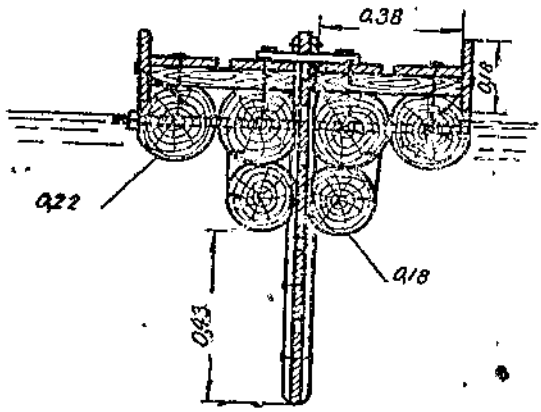


Рис. 319

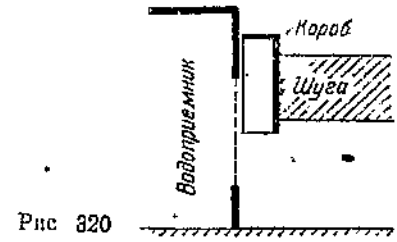
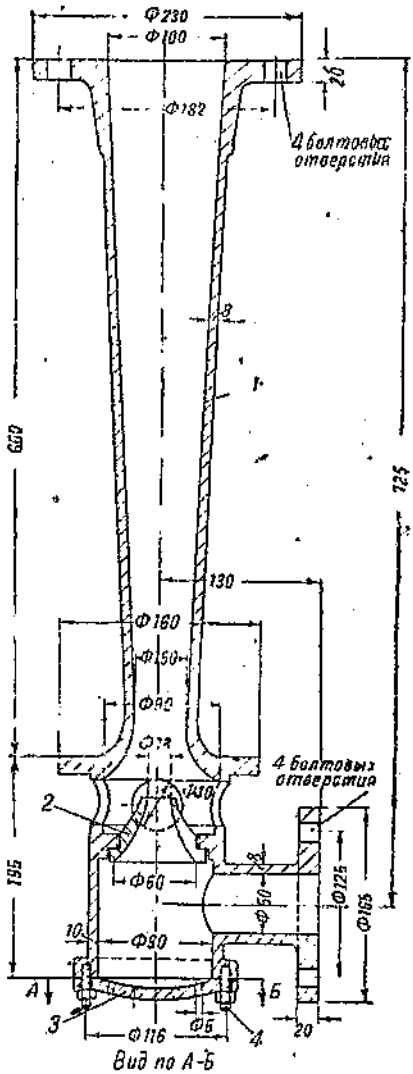


Рис 320

скались здесь ниже слоя шуги в реке и предупреждали проникание ее к самым окнам приемника.

Удаление осадков из водозаборных сооружений. Удаление осадков из водоприемных отделений водозаборов следует механизировать; это имеет большое значение для предупреждения накопления и продолжительного пребывания их здесь; следствием последнего может быть ухудшение качества принимаемой воды, так как осадки могут загнивать. Для удаления осадков применяют эжекторы; чтобы обеспечить возможность отсасывать осадки из любой точки водоприемного отделения, установка эжектора делается подвижной; эжектор подвешивается к перекрытию водоприемника и гибкими шлангами соединяется с трубами — напорной водопроводной и отводной грязевой. Вместо эжекторов применяются иногда, особенно в больших водоснабжениях, специальные песковые насосы.

На случай уплотнения осадков целесообразно предвидеть возможность их разрыхления механическим путем, например струйками воды из перфорированных труб, получающих воду под напором. С этой целью могут применяться эжекторы, снабжаемые разрыхлителями по рис. 321; здесь *1* — корпус эжектора, *2* — насадка, *3* — крышка с круглыми отверстиями диаметром 5 *мм*. Удаляе-



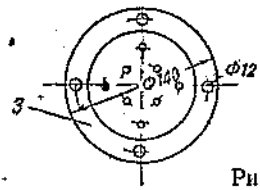


Рис. 321

мые эжекторами или песковыми насосами осадки по водостоку отводятся к реке и сбрасываются в нее ниже водоприемника.

При наличии вакуум-насоса он может рационально использоваться для удаления осадков. Тогда (рис. 322) вблизи водоприемного отделения водозабора устанавливают котел K со шлангом A и трубопроводом M, идущим к вакуум-насосу. При помощи последнего откачивают воздух из котла до получения здесь необходимого разрежения.

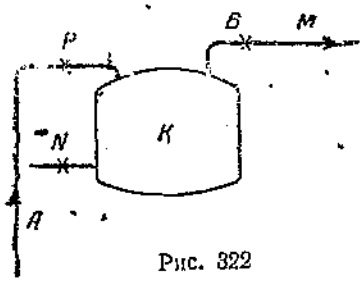


Рис. 322

Если теперь отключить насос и открыть задвижку P на шланге A, то осадки из водоприемника будут засасываться в котел. Когда давление в котле сравняется с атмосферным, открывают задвижку N в нижней части котла и выпускают осадки по отводному лотку. Котел должен иметь лаз с плотно закрывающейся крышкой.

§ 68. Водозаборные сооружения берегового типа

Принципиальные схемы. На рис. 323 показана одна из основных принципиальных схем водозабора берегового типа. Водозабор состоит по существу из двух отдельных сооружений: собственно водоприемника и насосной станции. Водоприемник представляет собой пустотелую мостовую береговую опору (устой); внутри ее — поперечная разделительная стенка, образующая два отделения — приемное и всасывающее; в последнюю опущены концы всасывающих линий насосов насосной станции. По своей длине водоприемник разделяется на секции, которые могут работать независимо одна от другой. Для обеспечения бесперебойности действия водозабора число секций должно быть не менее двух. В крупном водоснабжении с большим числом всасывающих линий число секций водоприемника увеличивается, например до трех и более.

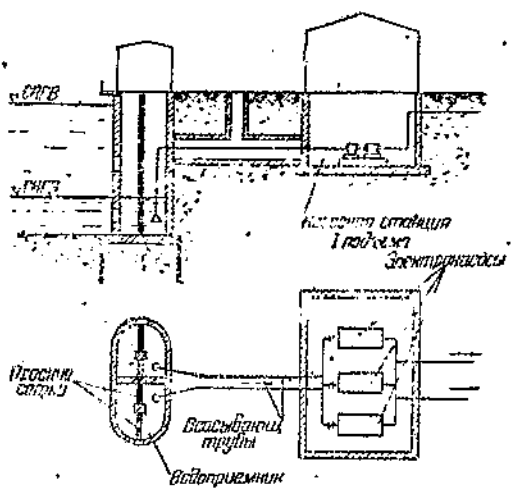


Рис. 323

В приемное отделение вода из реки поступает через входные окна, размещаемые по высоте в два яруса: нижние окна работают при низких горизонтах реки, верхние — при высоких, когда нижние слои речной воды могут быть сравнительно сильно загрязнены механическими примесями. Все окна снабжаются внутри приемника затворами дроссельного или шиберного типа, с наружной же стороны — грубыми решетками (по возможности съемными) из вертикальных стержней с прозорами 100—150 *мм*, а иногда и более.

В разделительной стенке установлены неподвижные сетки для грубого процеживания воды. Управление сетками, затворами и другим

оборудованием производится со служебного перекрытия у поверхности земли. Над ним — павильон, весьма удобный для эксплоатации приемника, но не целесообразный, а иногда и недопустимый по условиям МПВО. Служебное перекрытие имеет балкон, позволяющий вести операции по очистке решеток входных окон, смене их и пр.

Насосная станция водозабора располагается вне зоны возможных нарушений грунтов при производстве работ. Топографические условия также могут заставлять относить станцию на сравнительно большое расстояние. Этого же могут требовать условия МПВО, в частности, маскировки.

Но вообще с точки зрения обеспечения хорошей работы водозабора следует, стремясь к укорочению всасывающих линий, сокращать расстояние между водоприемником и насосной станцией.

По схеме рис. 323 всасывающие линии прокладываются в галлерее (туннеле). Устройство последней — не обязательно, но целесообразно, особенно при чугунных трубах и при наличии слабых грунтов, когда возможны случаи значительных и неравномерных осадок.

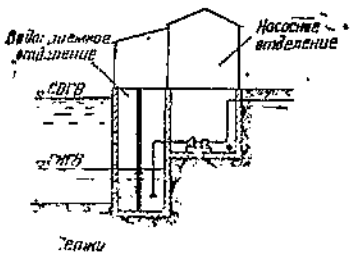


Рис. 324

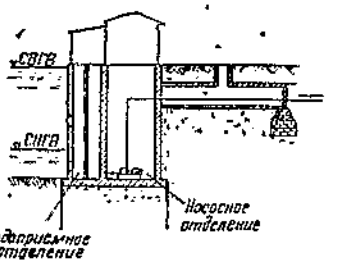


Рис. 325

Когда насосную станцию и водоприемник удается разместить впритык, принципиальная схема водозабора получает вид по рис. 324 — насосная станция совмещается с водоприемником в одном сооружении, которое нередко называют береговым водозабором совмещенного типа.

Сооружение состоит тогда из двух отделений — приемного и насосного, между которыми устанавливаются сетки.

Достоинства такого совмещения: 1) объем сооружений водозабора и стоимость их существенно уменьшаются; 2) длина всасывающих линий получается наименьшей; положение их, условия работы — значительно улучшаются; каждый насос сравнительно просто может быть снабжен отдельной всасывающей линией; число секций водоприемного отделения — обычно по числу насосов; 3) обслуживание и насосной станции и водоприемника может производиться одним и тем же персоналом.

Однако водозабор по такой схеме допустим лишь при условии, что речной берег сложен такими породами, при которых не приходится опасаться различных осадок приемной и насосной частей сооружения, заложенных на разных отметках.

При установке вместо горизонтальных насосов — вертикальных принципиальная схема изменяется мало; уменьшаются размеры водозабора за счет выноса вертикальных электромоторов на верхнее (у поверхности земли) перекрытие.

Отмеченные достоинства берегового водозабора совмещенного типа привели к тому, что он нашел себе применение даже при мягких грунтах с заложением всего сооружения на одной и той же отметке

по рис. 325. Тогда практикуется применение горизонтальных центробежных насосов с установкой их на таком уровне, который допускал бы работу насосов под залив даже при самых низких горизонтах воды в реке. Обладая с этой точки зрения достоинством, схема неудачна в том отношении, что насосное отделение получается больших размеров, а все сооружение громоздким и дорогим; кроме того, электромоторы насосов находятся в неблагоприятных эксплоатационных условиях. Эти недостатки устраняются при установке вертикальных центробежных насосов. Тогда принципиальная схема водозабора получит вид, как на рис. 326.

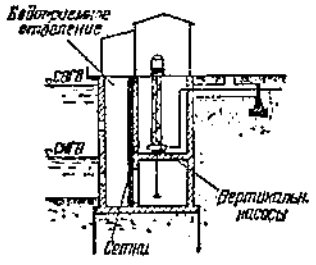


Рис. 326

Водоприемное отделение здесь то же, что и для схемы по рис. 325; прошедшая сетки вода поступает в подвальную часть насосного отделения, имеющую перекрытие, на котором располагаются насосы. Перекрытие — водонепроницаемое, рассчитанное статически на давление воды снизу для случая самого высокого горизонта воды в реке и имеющее герметически закрывающиеся люки. Водонепроницаема и стенка между водоприемным и насосным отделениями выше перекрытия [1].

При водозаборах по схемам рис. 325 и 326 по выходе из насосного отделения водоводы на участке с ненадежными грунтами прокладываются в железобетонной галлерее, так как при отсутствии последней и при разрыве водоводов может произойти размыв окружающей земляной засыпки с серьезными авариями водоводов и водозабора. В эту галлерею можно выносить некоторую арматуру оборудования насосной станции — водомеры, предохранительные и обратные клапаны, задвижки и пр., и тем самым уменьшать размеры насосного отделения.

Одним концом галлерея опирается на стенку водозабора (без жесткой заделки), на другом же конце имеет каменную опору. Для доступа в галлерею устраивается входная шахточка.

На рис. 327 дана принципиальная схема берегового совмещенного водозабора закрытого типа [2].

Верхняя часть сооружения выступает над водой даже при высоких горизонтах осенних паводков; вход в водоприемную часть через люки перекрытия, которые в эти моменты открываются. Насосное отделение, закрытое со всех сторон, сообщается с незатопляемыми отметками берега наклонной железобетонной галлереей, которая служит одновременно для прокладки водоводов и подведения электрокабелей. Галлерея оканчивается входным павильоном. Насосы устанавливаются под залив в целях обеспечения лучших условий работы их. Щит управления размещается или в верхнем этаже насосного отделения или во входном павильоне (что хуже). При соответствующей форме коренного русла реки возможно устройство дополнительного приема воды при помощи самотечных линий, показанных на рис. 327 пунктиром.

Рассматриваемый водозабор не нарушает существенно режима речного потока, не ухудшает условий судоходства, не требует устройства ледорезов, хорошо маскируется, интересен с точки зрения МПВО. Недостатком водозабора является его затопляемость и затруднительность в эти периоды времени оперировать с решетками входных окон и сет-

[1] Как видоизменение такой схемы можно отметить упрощенную схему берегового водозабора совмещенного типа без разделительной стенки; неудобство схемы в том, что насосы заторляются при высоких горизонтах реки и число сеток для процеживания воды увеличивается.

[2] Схема предложена инж. Н. В. Ересновым и А. С. Образовским.

ками; однако затопление при описанной схеме устройства будет непродолжительным (порядка 20—30 дней весной).

Детали водозаборных сооружений. Отметим далее главные детали береговых водозаборных сооружений.

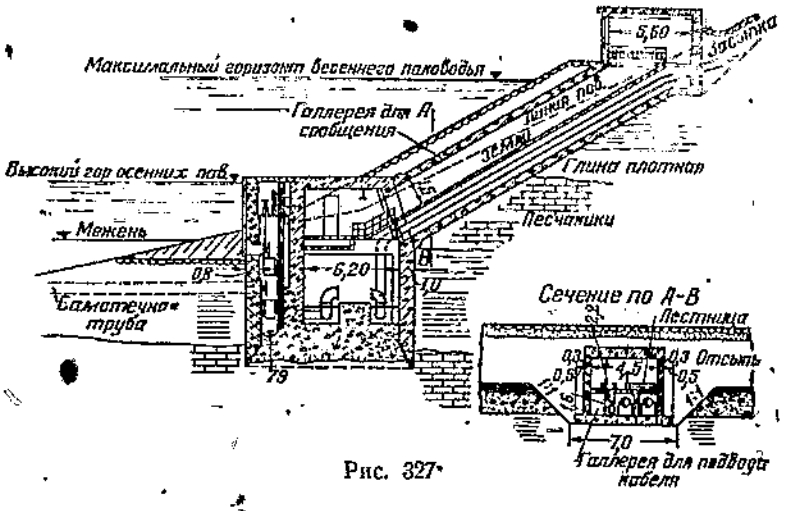


Рис. 327.

Водоприемник. Очертание водоприемника в плане — прямоугольное или овальное (в виде двух полуокружностей с прямыми вставками); оно зависит от числа и размеров секций, от рода строительных материалов (бетона, железобетона, дерева), от способа производства работ по возведению его. На реках с сильным ледоходом верховая — относительно течения — часть водоприемника делается иногда со скосом под углом около 45° к направлению течения для облегчения прохода льда.

Кроме того, может требоваться облицовка — в частности, углов — достаточно прочным камнем (гранит, песчаник и др.).

Общая площадь сечения приемных окон определяется по забираемому из реки расходу воды и допускаемой входной скорости. В соответствии со сказанным на стр. 243 эту скорость желательно принимать не более 0,05—0,10 *м/сек*. Столь малые скорости вызывают, однако, значительные размеры окон и самого водоприемника, а потому их обычно увеличивают до 0,2—0,3 *м/сек*, а при сравнительно чистой речной воде еще более, усиляя при этом мероприятия против закупорки окон донным льдом и шугой — обогреванием входных решеток, установкой шугоотбойников, коробов, сбросом теплой воды. Размер отдельных окон, число их и взаимное размещение назначают по конструктивным и эксплоатационным соображениям, в частности, чтобы не получалось вредного ослабления стен водоприемников, чтобы установка и очистка решеток и затворов могли производиться для каждого окна независимо. При этом низ окон нижнего ряда в целях уменьшения количества вовлекаемых насосов располагают над дном реки по возможности не менее, чем на 0,5—1,0 *м* и только при сравнительно малом загрязнении речной воды идут на уменьшение указанных цифр. Верх же этих окон во избежание их обмерзания помещают на 0,25—0,35 *м* ниже нижней кромки льда при наинизшем горизонте ледостава. Верх этих окон должен быть заглублен под горизонтом самых низких вод реки не менее, чем на 0,75—1,0 *м*. Верх окон верхнего ряда под горизонтом высоких вод — не менее 1,0—1,25 *м*.

Высоту водоприемника назначают по условию, чтобы служебное перекрытие, с которого производится управление оконными затворами, сетками и пр., возвышалось над самым высоким горизонтом воды не менее чем на 0,75—1,0 *м*. Это перекрытие целесообразно делать разборным для облегчения работ по монтажу оборудования, ремонта и т. п. Если условия МПВО допускают, над служебным перекрытием устраивают павильон. Нет нужды возводить его из бетона или железобетона; вместо них может применяться кирпич, дерево и другие материалы. Балкон перекрытия используется для обслуживания решеток входных окон. Вытаскивание решеток — при помощи лебедки, устанавливаемой на балконе (рис. 328), или блока, прикрепляемого к кошке, которая может перемещаться по нижней полке двутавровой балки; последняя (рис. 329) прикрепляется к консолям, заделываемым в стенку павильона. При вытаскивании решеток опускается на тросе петля, которая на-

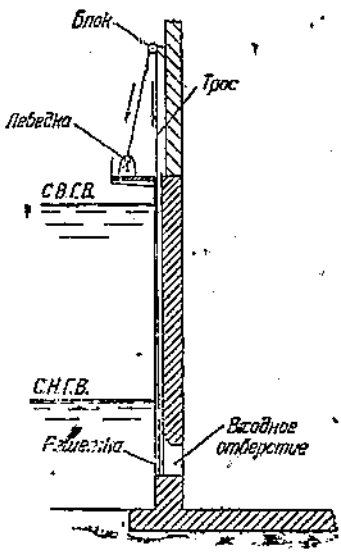


Рис. 328

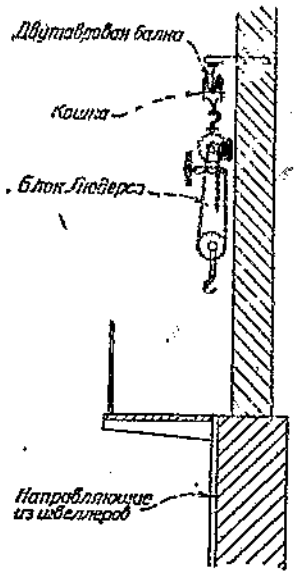


Рис. 329

девается на крючки, имеющиеся на решетках. В зимнее время для обслуживания решеток приходится производить околку льда у водоприемника.

Размеры приемного и всасывающего отделений каждой секции сооружения назначаются из условий рационального размещения сеток, затворов, всасывающих труб и другого оборудования, а также достаточно удобного осмотра и ремонта их. В целях образования приямка для выпадающих из воды осадков следует обеспечивать заглубление дна водоприемника под нижними входными окнами по возможности не менее, чем на 0,5—1,0 *м*. Удаление из водоприемника осадков производится обычно при помощи эжекторов.

Основание водоприемника осуществляется в зависимости от местных геологических и гидрологических условий с таким расчетом, чтобы был предупрежден подмыв сооружения; при заложении водоприемника на наносных грунтах основание окружается шпунтовыми рядами; кроме того, производится укрепление дна реки — обычно фашинными тюфяками; при неблагоприятных условиях приходится применять опускные колодцы и даже кессоны (в редких случаях больших водоснабжений).

Галлерея всасывающих труб. Поперечное сечение галлерей часто сводчатое (рис. 330), реже прямоугольное (рис. 331).

Внутренние размеры галлереи назначаются в зависимости от числа и диаметра всасывающих линий и условий достаточно удобного обслуживания их, ремонта и пр.; для входа в галлерею с поверхности земли устраивается специальная шахточка, которая одновременно может

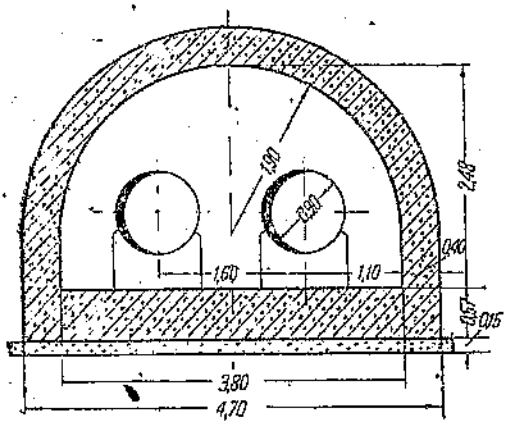


Рис. 330

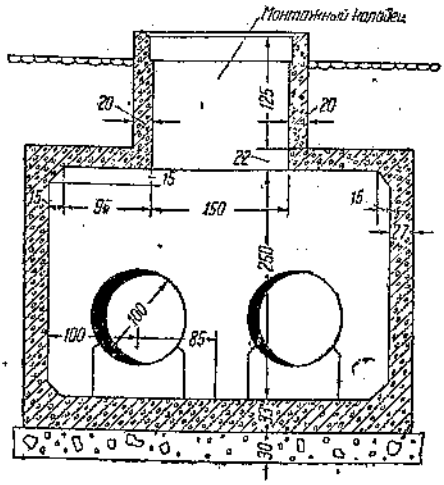


Рис. 331

служить монтажной[1]. Примыкание галлереи к водоприемнику и к насосной станции делается не жестким, а с водонепроницаемыми швами.

Примеры водозаборных сооружений. На рис. 332 (а также см. рис. 307) показан пример берегового водозабора раздельного типа с вращающимися сетками. Водоприемник состоит из трех независи-

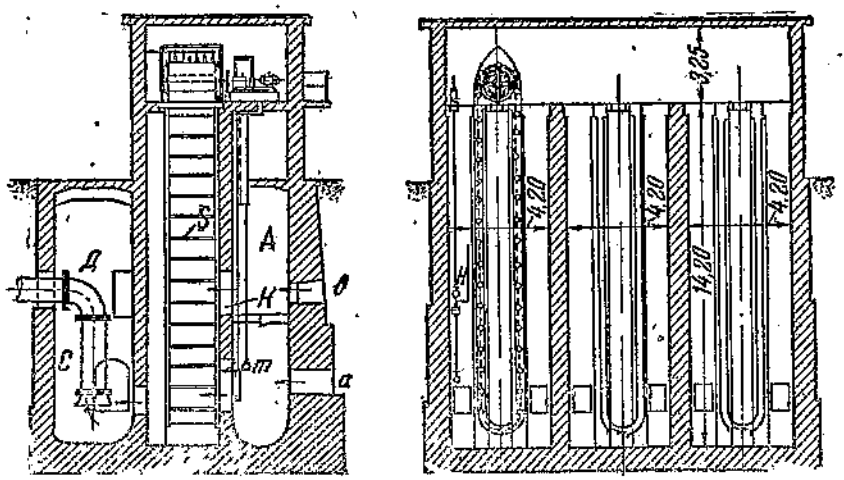


Рис. 332

мых одна от другой секций. Пропускная способность каждой секции — около 5 000 *м³/час*. Вода из реки через нижние *а* или верхние *б* окна поступает в аванкамеру *А*, а затем через окно *К* внутрь сетки *S*. Пройдя через последнюю, вода направляется в камеру *С* всасывающих труб *D*. Каждая сетка приводится в движение электромотором

[1] Иногда сообщение с галлереей — из насосной станции через герметически закрываемые люки; но это менее удобно при эксплоатации.

в 3 *л. с.* Секундная скорость поступательного движения сетки от 5 до 20 *мм* в зависимости от степени загрязнения речной водой; при каждом электромоторе — коробка скоростей. В каждой секции имеется аварийное устройство *р* с затвором, который открывается автоматически, как только потеря напора достигнет наибольшей допустимой величины (20 *см*). Это автоматическое устройство состоит по существу в следующем. В каждой секции установлен поплавок *т*, укрепленный на круглой медной тяге. На тяге (рис. 333) — гайка *г*, помещенная на высоте соответствующей наибольшей допустимой разнице отметок уровней воды перед сеткой и за нею. Когда эта разница будет достигнута, гайка *г* нажмет на рычаг *п*; последний, опускаясь, освободит задержку *а* на валу *у*; тогда помещенный здесь груз *К* упадет и ударит по рычагу с собачкой *И*, которая до сего момента удерживала храповое колесо *х*, посаженное на валу *в*; освободившись от собачки, храповое колесо в свою очередь освободит шестерню *А*, тогда последняя начнет вращаться и приведет в движение вал *В*, который при помощи червячной передачи приведет во вращение вертикальную ось, на которой укреплен затвор; он повернется на 90° и откроет аварийное окно. Вся операция по открытию затвора занимает 30 сек. В закрытое положение затвор приводится от руки.

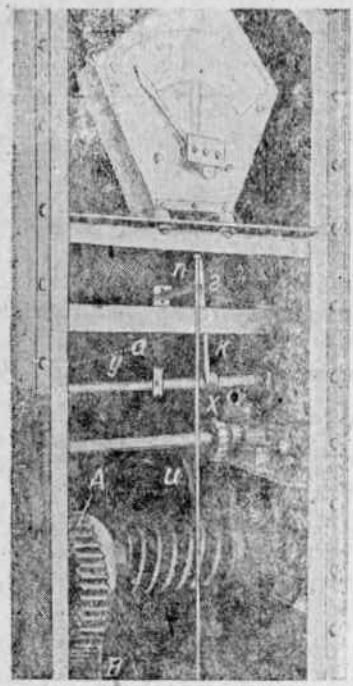


Рис. 333

Верхняя часть аппарата заключена в металлический кожух и снабжена циферблатом с двумя стрелками, из которых одна отрегулировывается на допустимый наибольший напор, а вторая является контрольной.

При каждой сетке промывочный вертикальный центробежный насос производительностью около 5 *л/сек* с напором в 25 *м*; при насосе — электромотор мощностью 3 *квт*.

На рис. 334а и 334б приведен пример берегового водозабора раздельного типа с неподвижными сетками. Он рассчитан на получение воды в количестве 1,0 $м^3/сек$. Водоприемник соединяется с берегом сопрягающей дамбой; последней для предупреждения образования заторов льда приданы плавные очертания, постепенно переходящие в линию берега. Со стороны реки дамба ограничена подпорными стенками ныряющего типа, которые защищены от подмыва шпунтовыми рядами. Водоприемник состоит из двух независимо работающих секций. Входные окна с внутренней стороны снабжены шиберами диаметром 900 *мм*, а с наружной — решетками; обслуживание последних — с балкона, который имеет отверстия для подъема решеток наверх. В приемнике — сетки с просветами 5 × 5 *мм*. Верх их на отметке меженного горизонта воды в реке; выше сеток — железобетонная стенка, не допускающая прохода воды помимо сеток.

Подъем сеток осуществляется при помощи блока, подвешиваемого к кошке, которая передвигается по нижней полке двутавровой балки. Служебное перекрытие приемника — разборное для удобства монтажа и демонтажа оборудования.

На рис. 335 показан пример совмещенного берегового водозабора с плоскими сетками, разделенного на три секции по числу всасываю-

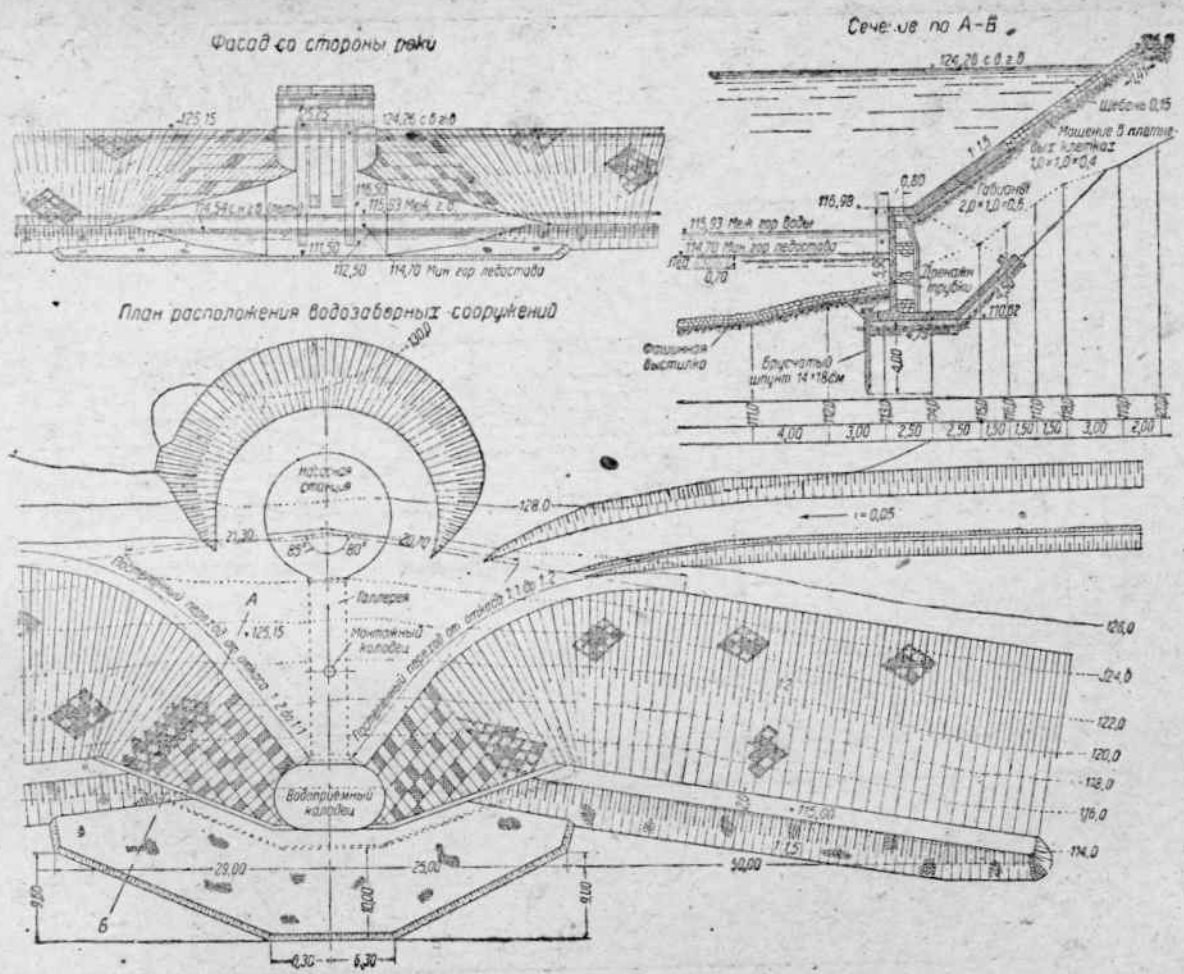

Фасад со стороны реки
Сечение по А-Б
План расположения водозаборных сооружений
Насосная станция
Галерея
Монтажный колодец
Водоприемный колодец
Габионы
Брусчатый шпунт 14×18см
Дренажн трубки
Отсыпка выстилка
Мощение в плетнях
Шебень 0,15
Мин. отм. воды
Мин. отм. забора
4,00
3,00
2,50
2,50
1,50
1,50
1,50
3,00
2,00

Рис. 334а

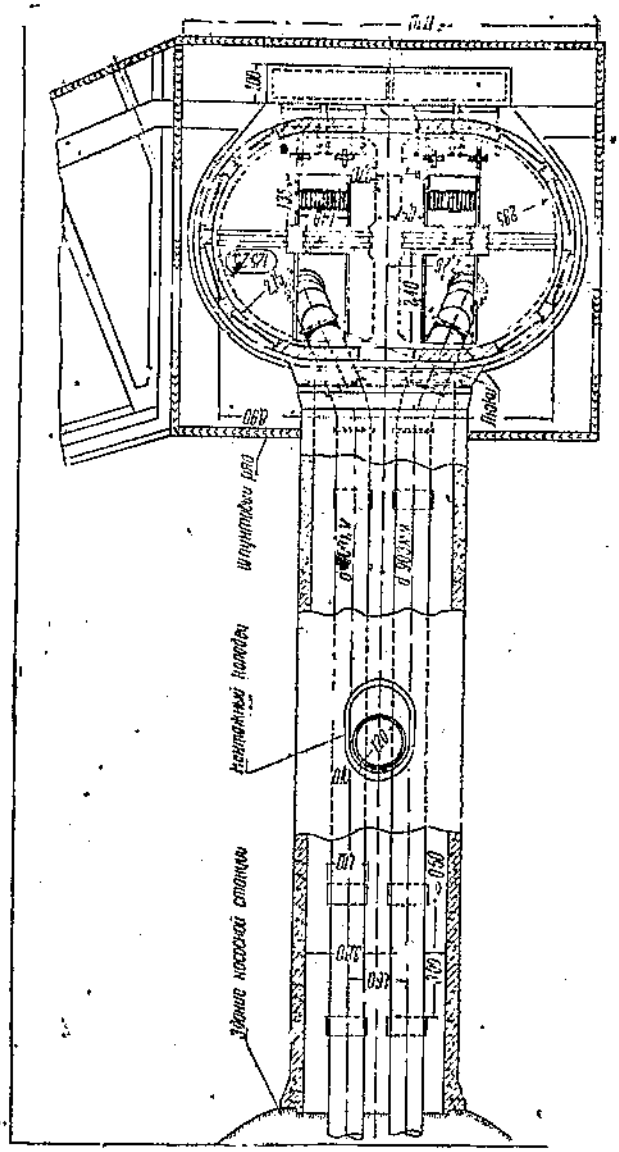


Рис. 3846

щих труб трех насосов. Производительность каждого из них — 750 *л/сек.* Сопряжение водозабора с берегом — при помощи земляной дамбы, имеющей плавное очертание в плане и ограниченной со стороны реки ныряющими подпорными стенками.

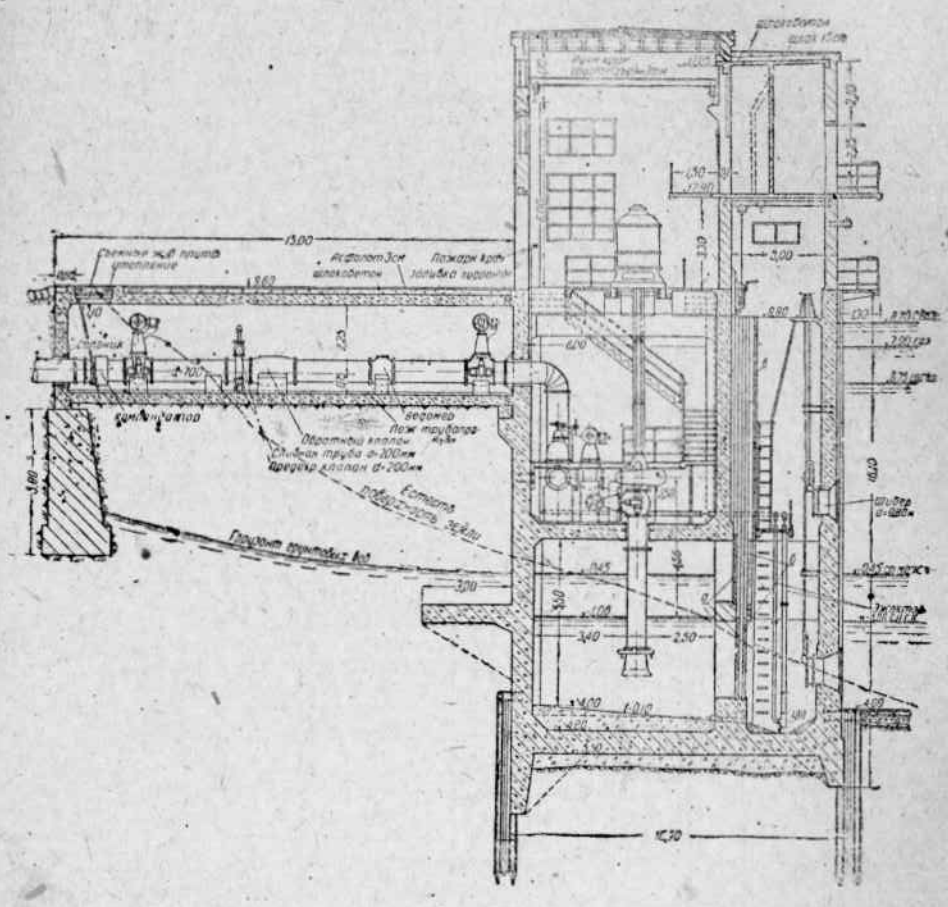


Рис. 335

Дно реки перед водозабором на длине 25,0 *м* и ширине 10,0 *м* укрепляется фашинным тюфяком. Для предупреждения подмыва водозабор по всему его периметру окружен брусчатым шпунтовым рядом толщиной 18 *см.*

Для обеспечения устойчивости сооружения в основании его устроен зуб и разгрузочная плита шириной 3,0 *м.*

На рис. 336 показан пример деревянного водоприемника берегового водозабора. Он, как это обычно делается, ряжевой конструкции с размером ящиков в 2,0 *м*[1] и рубкой наружных углов без остатка в косую лапу.

Такие водоприемники, страдая существенными недостатками в отношении возможности быстрого загнивания дерева и пр., могут находить рациональное применение во временных устройствах, в частности, при восстановлении водоснабжений.

Если при больших диаметрах всасывающих линий размеры водоприемника требуются значительные, а потому вызывают удлинение срока производства работ, может оказаться целесообразным устраивать для каждой всасывающей линии отдельный водоприемник.

[1] Ширина ящиков колеблется в пределах 1,5—2,5 *м*, редко больше.

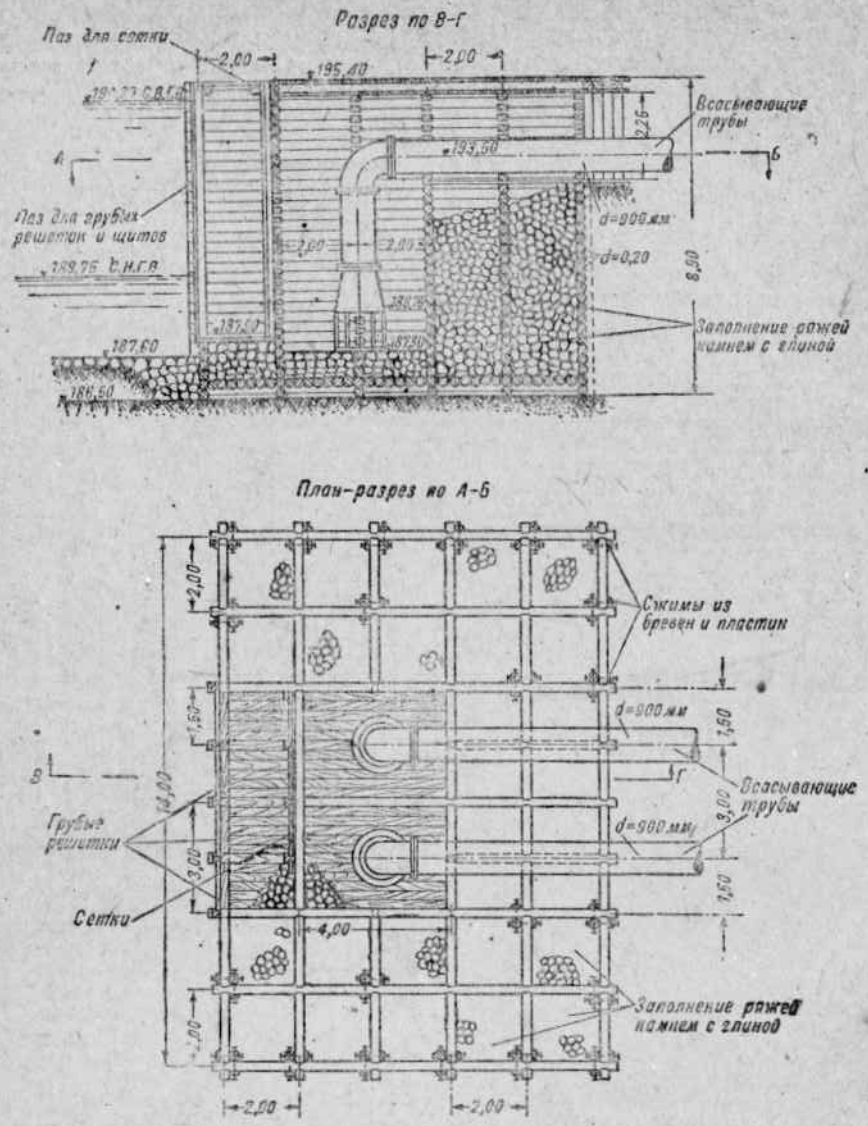


Рис. 336

Достоинства и недостатки водозаборных сооружений берегового типа. Большое достоинство таких водозаборных сооружений — сравнительная доступность приемных окон для установки решеток, их очистки и смены, для установки реостатов, относительно простой подвод к ним электрического тока, простота установки шугоотбойников (запаней, коробов); кроме того, при наличии в системе водоснабжения отработанной теплой воды практически возможен сброс ее к приемным окнам.

Как некоторый недостаток берегового водозабора приходится отметить получение им воды из прибрежной полосы, где качество воды может быть хуже, нежели в других точках того же сечения реки. Поэтому применение такого водозабора для питьевого водоснабжения допустимо при условии достаточной чистоты воды близ берега. Кроме того, берег должен быть крутым, чтобы избежать устройства длинной и дорогой сопрягающей дамбы, которая может изменить режим речного потока в районе водозабора. Наконец, вблизи берега глубины реки

должны быть достаточны для требуемого расположения приемных окон. При отсутствии необходимых глубин прибегают иногда к искусственному понижению отметок дна реки при помощи полузапруд, прорезей [1].

Водозаборные сооружения совмещенного типа нецелесообразны, кроме того, с точки зрения МПВО.

§ 69. Водозаборы — крибы

Принципиальные схемы. Если профиль дна реки [2] или геологические условия являются неблагоприятными, то береговой водозабор приходится относить от берега, устраивая сопрягающую дамбу больших размеров по длине и высоте. Такая дамба — очень дорога; кроме того, она вызывает значительные боковые давления земли на водозабор, тем самым уменьшает его устойчивость и требует утяжеления сооружения. Наконец, большая сопрягающая дамба вызывает стеснение живого сечения реки, изменение режима речного потока. По этим

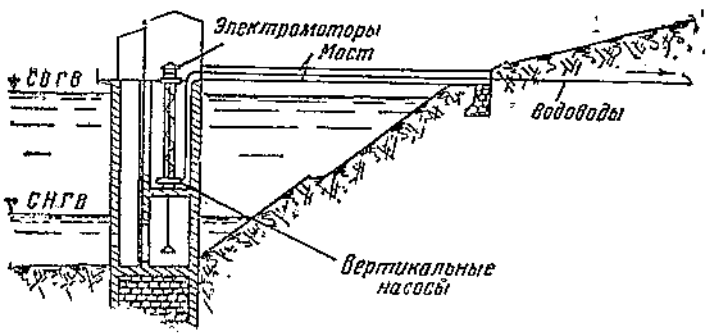


Рис. 337

причинам на практике взамен сопрягающей дамбы устраивается мостик, а совмещенный водозабор выполняется конструктивно в виде криба по рис. 337.

Собственно «криб» представляет собой пустотелую мостовую опору (мостовой бык), имеющую, как и совмещенный береговой водозабор, два отделения — приемное и насосное. Одно целое с самым крибом составляет ледорез. Иногда ледорез устраивается особо от криба в виде отдельно стоящего сооружения.

На соединительный мост выносят обычно из насосного отделения водозабора такие части оборудования, как водомеры, клапаны (обратные, предохранительные) и т. п.; это позволяет уменьшить размеры насосного отделения.

Криб позволяет увеличивать число водоприемных окон, развивать их площадь и тем самым уменьшать входные скорости воды. Однако крибу присущи недостатки, из которых отметим следующие: 1) криб — дорогое сооружение, особенно в тех случаях, когда при тяжелых ледовых условиях требуется ледорез сильной конструкции; 2) ухудшение условий судоходства, 3) трудность надлежащей маскировки криба и соединительного моста; 4) нерациональность с точки зрения условий МПВО; 5) большая стоимость соединительного моста.

---

[1] Изучение этих сооружений — в курсе гидротехники.

[2] При дороговизне, сложности или невозможности увеличивать глубину воды у берега при помощи полузапруд, прорезей или других устройств.

Все эти недостатки проявляются особенно сильно при значительном (например, на сотни метров) удалении криба — водозабора от берега. Так как стоимость моста возрастает тогда чрезвычайно, то от постройки его отказываются, полагая, возможным устанавливать связь водозабора с берегом по подвесной канатной дороге или даже просто на лодках (рис. 338). В последнем случае в крибе предусматриваются специальные помещения для хранения запасных частей оборудования и для пребывания служебного персонала; в период ледохода он должен находиться на крибе, так как связь с берегом становится ненадежной.

Рис. 338

Устройство криба-водозабора вследствие очень высокой его стоимости допустимо лишь в очень редких случаях для получения больших количеств воды из больших рек при тяжелых местных условиях и при нерациональности сооружений других типов.

Примеры водозаборов-крибов. На рис. 339а, б, в, приведен пример крибового водозабора с неподвижными сетками, рассчитанного на получение 2,7 *м*³/*сек*. Через окна, снабженные грубыми решетками и шиберами, вода поступает из реки в приемное отделение, оборудованное эжекторами для удаления выпавших здесь осадков. Пройдя сетки, вода направляется в камеру всасывающих труб. Над ней — пять вертикальных центробежных насосов. Для уменьшения размеров насосного

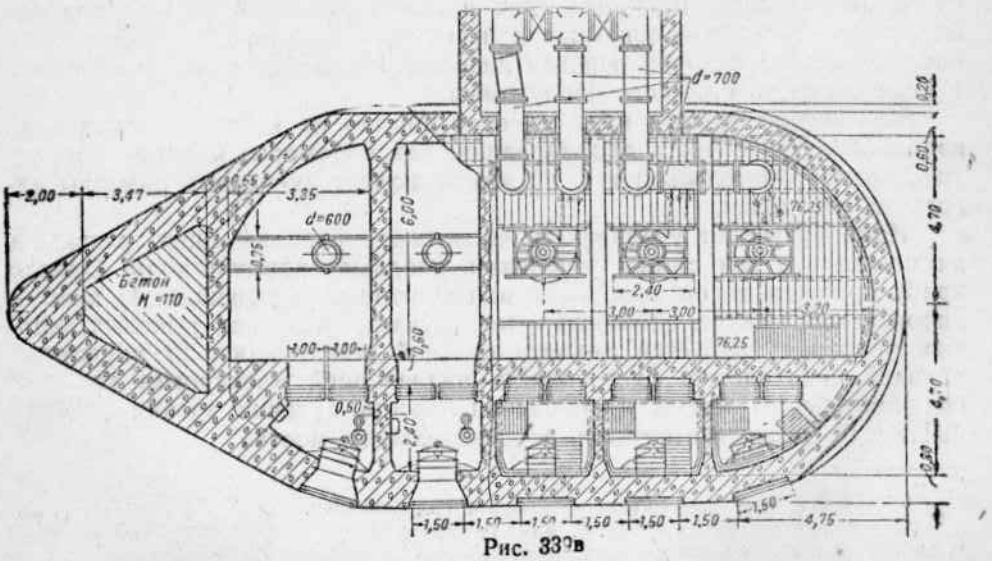


Рис. 339в

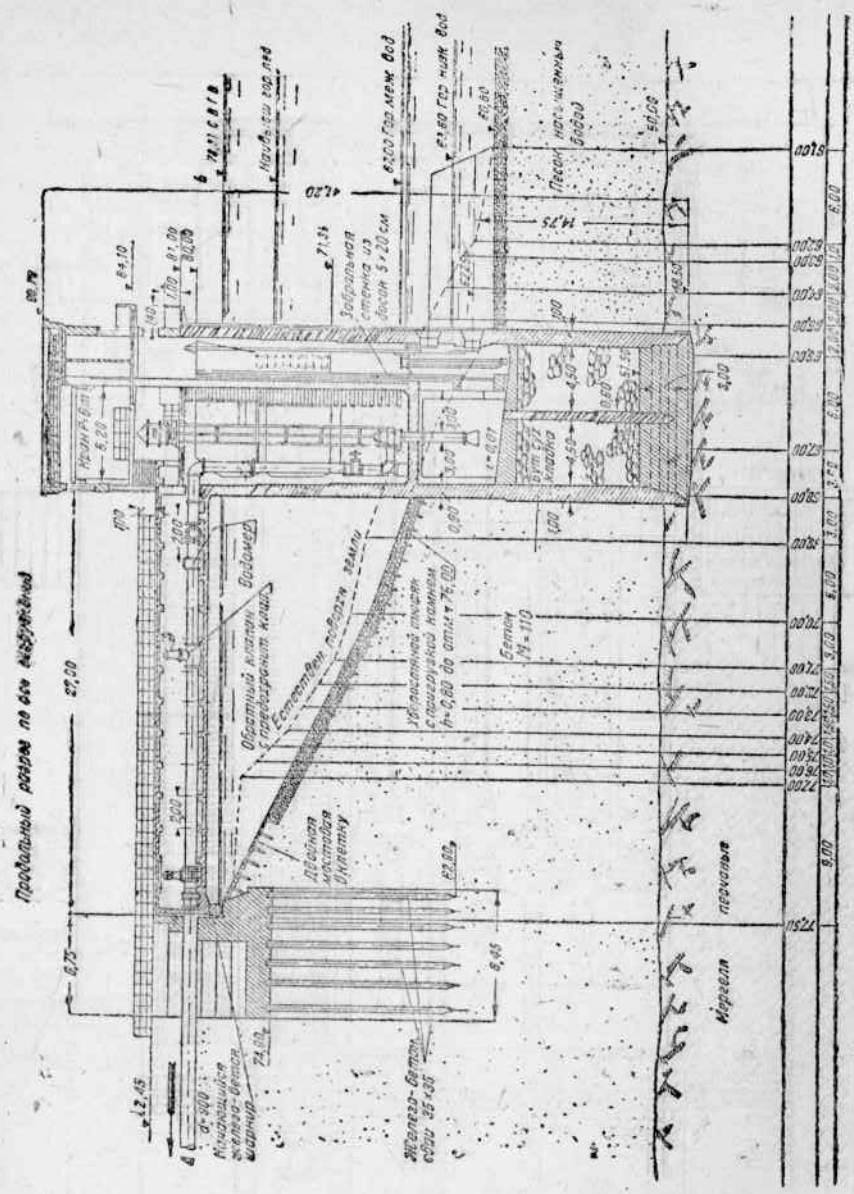


Рис. 329а

отделения водозабора задвижки и обратные клапаны размещены на стояках. Электрооборудование расположено в два этажа в павильоне криба; кроме того, оно занимает часть насосного отделения. Криб выполнен с ледорезом, имеющем наклон режущей грани 1 : 1. Соединительный мост пролетом 27,0 *м* — из железобетона.

На рис. 340а, б, в приведен пример крибового водозабора с вращающимися сетками. Сооружение имеет круглое в плане очертание с внутренним диаметром 18,0 *м* и наружным — 21,5 *м*. Это позволило разместить по периметру криба 16 входных окон размерами по 1,75 × 1,5 *м*, благодаря чему при наибольшем расчетном заборе воды 3,5 *м*³/*сек* входные скорости ее составляют только 0,1 *м*/*сек* (без учета стеснения отверстий решетками). Пройдя окна, вода поступает в кольцевой сборный канал шириной 2,0 *м*, из него в три камеры вращающихся сеток внутреннего типа и, наконец, в три отделения всасывающих труб. Насосами, производительностью по 1,75 *м*³/*сек*, вода

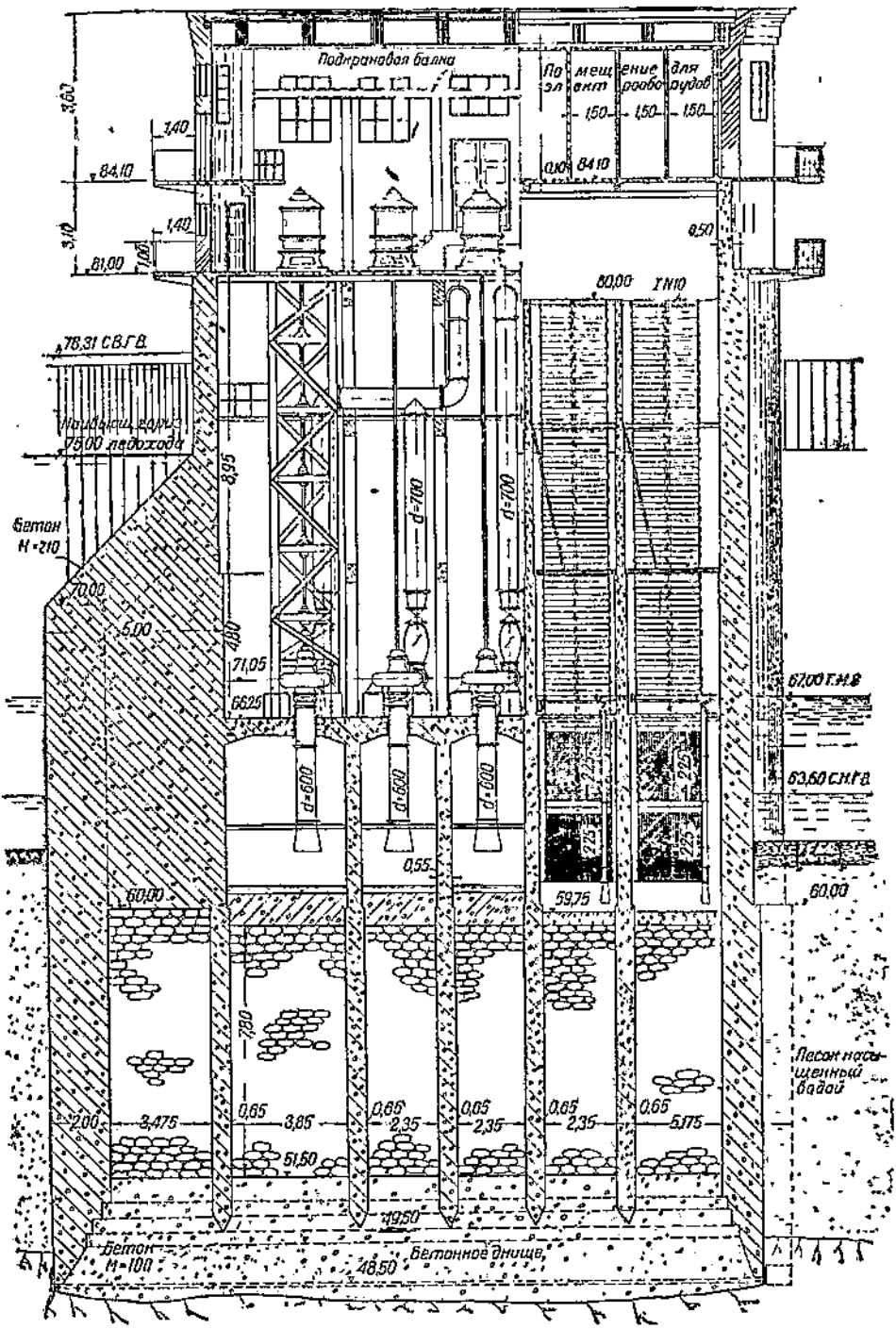

Подкрановая балка
По эл
мещ
ение
для
ооб
удов
1,50
1,50
1,50
3,60
3,40
84,10
0,00
84,10
3,10
1,40
1,00
81,00
8,50
80,00
УМО
78,31 СВГВ
Площадка 80,00
75,00 подходов
8,95
Бетон
М=210
d=700
d=700
70,00
5,00
4,00
71,05
66,25
67,00 ГМВ
63,50 СНГВ
d=600
d=600
d=600
0,55
60,00
59,75
60,00
7,30
Песок насыщенный водой
2,00
3,475
0,65
3,85
0,65
2,35
0,65
2,35
0,65
2,35
0,65
5,175
51,50
49,50
Бетон
М=100
Бетонное днище
48,50

Рис. 3396

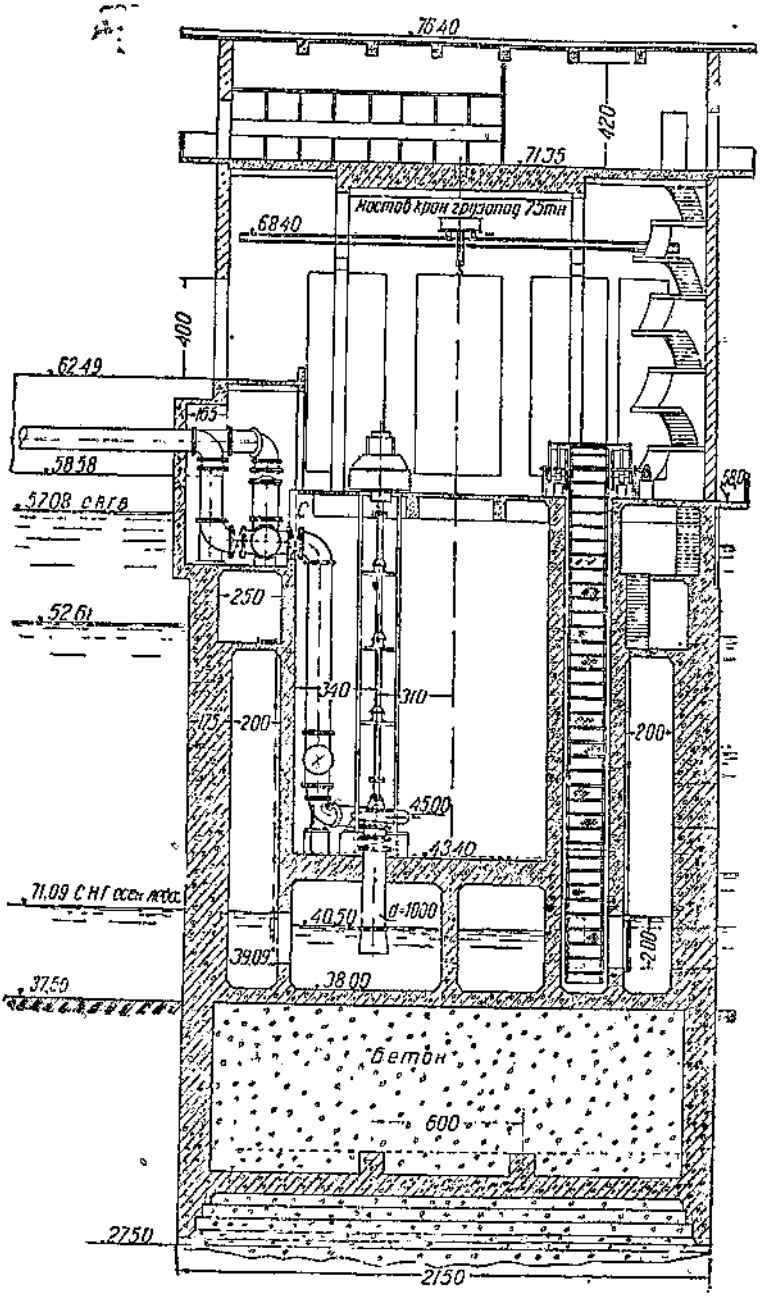

76.40
71.35
420
Настов кран грузопод 75тн
68.40
400
62.49
165
58.58
52.08 с.н.г.в
52.61
250
340
310
200
175
200
45.00
43.40
71.09 С.Н.Г осень лето
40.50
0-1000
39.09
37.50
38.00
200
Бетон
600
27.50
21.50

Рис. 340а

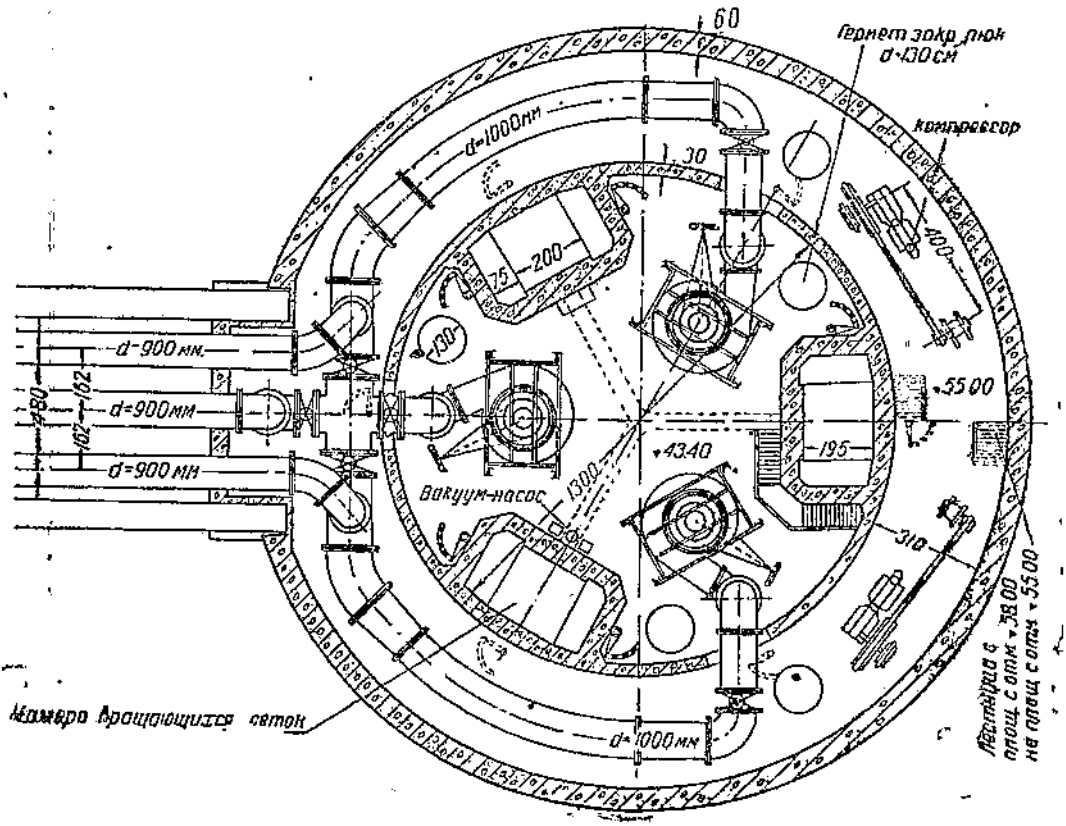


Рис. 340б

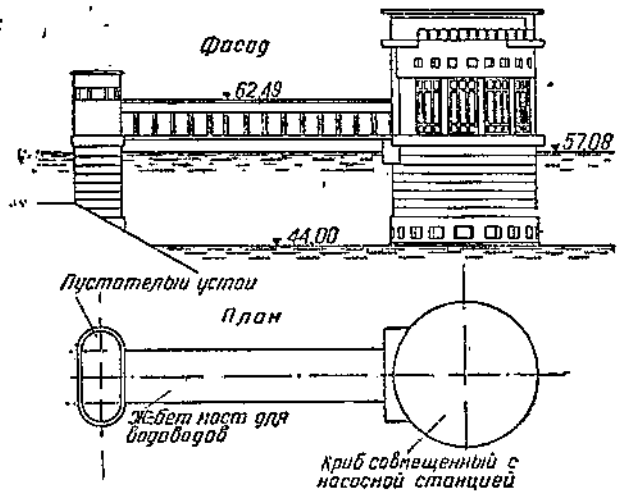


Рис. 340в

подается в сборный коллектор диаметром 1 000 *мм* и далее в три водовода диаметром 900 *мм*; последние уложены сначала внутри железобетонного моста, который на береговой стороне покоится на пустотелом устое; в нем водоводы опущены на требуемую глубину и идут затем уже в земле.

§ 70. Водозаборные сооружения с самотечными линиями

Принципиальные схемы. На рис. 341 показана принципиальная схема обычно применяемой компоновки водозаборных сооружений с самотечными линиями. Ввиду недостаточных глубин реки у берега, неудовлетворительного качества воды здесь или по другим местным условиям точка забора воды относится от берега на расстояние, исчисляемое многими метрами. Отсюда вода по самотечным линиям проводится в береговой колодец, состоящий из двух отделений — приемного и всасывающего. В приемном отделении выпадают из воды тяжелые взвешенные примеси; во всасывающем отделении помещены концы всасывающих труб насосов насосной станции. Между приемным и всасывающим отделениями устанавливаются сетки для грубого процеживания воды.

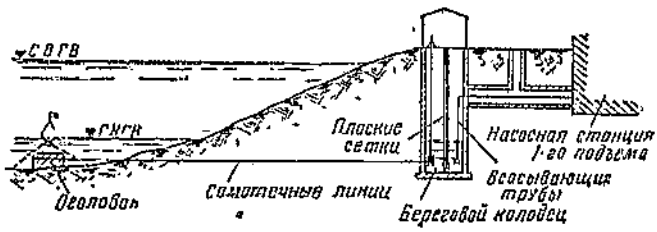


Рис. 341

По длине колодец обычно разбивается на секции, которые могут работать независимо одна от другой. Для обеспечения бесперебойности водоснабжения необходимо не менее двух секций.

Секционные разделительные стенки во всасывающем отделении желательно снабжать окнами, которые оборудованы щитами, открывающимися для перепуска воды из одних секций в другие.

Самотечные линии в береговом колодце имеют задвижки или другие затворы, в точке же приема воды они оканчиваются в так называемом оголовке. Здесь дно реки укрепляется в соответствии с характером грунтов.

На судоходных и лесосплавных реках над оголовком должен быть установлен освещаемый ночью сигнальный знак того типа, который применяется управлением речного транспорта.

Расположение насосной станции по отношению к береговому колодцу и устройство галлерей всасывающих труб намечаются по соображениям, которые указаны на стр. 247.

При работе насосов уровень воды в приемном отделении берегового колодца ниже, чем в реке, на высоту h, величина которой зависит от скорости движения воды по самотечным линиям. Во избежание большого увеличения h, а следовательно, и излишне большого заглубления берегового колодца, скорость движения по самотечным линиям не должна быть велика, но вместе с тем она должна быть самоочищающей — не менее 0,75—1,0 *м/сек* для предупреждения выпадения осадков из воды в трубах.

Независимо от этого предусматривается периодическая очистка самотечных линий путем промывки их обратным или, что менее эффективно, прямым током воды.

Для обеспечения бесперебойности водоснабжения должно быть не менее двух самотечных линий.

По схеме рис. 341 колодец расположен целиком в толще берега и защищается ею от подмыва и непосредственного воздействия ледо-

хода, а также утепляется ею. В этом достоинство схемы. Однако она не вполне обеспечивает бесперебойность работы водозабора при неблагоприятных условиях (лесосплав и др.), особенно при высоких горизонтах реки, когда оголовок трудно доступен или вовсе недоступен для очистки, ремонта и пр. Недостаток этот можно исправить прокладкой дополнительной верхней самотечной линии для приема воды при высоких горизонтах.

Указанного недостатка не имеет принципиальная схема по рис. 342. Здесь расположение берегового колодца таково, что в передней его стенке возможно устройство окон для приема через них речной воды при высоких горизонтах.

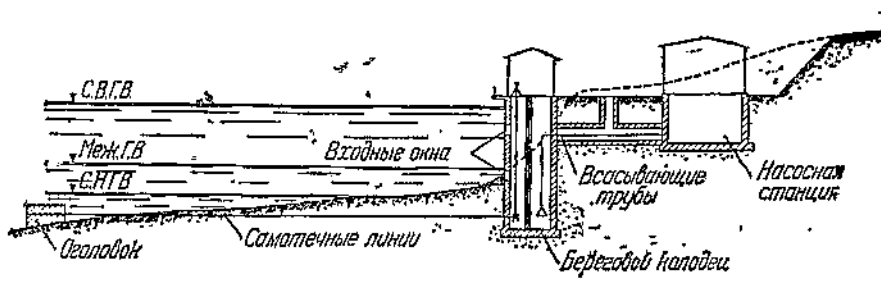


Рис. 342

В обеих приведенных схемах водозаборных сооружений предусмотрено устройство берегового колодца. Наличие последнего очень важно потому, что в нем 1) выпадают из воды тяжелые примеси, 2) удобно размещаются сетки для процеживания воды, 3) может располагаться оборудование для промывки самотечных линий, а иногда и сам колодец используется, как некоторая емкость для промывочной воды, 4) положение уровня воды позволяет сразу судить о том, какая именно из линий повреждена; если уровень воды в колодце при нарушении работы насосов одинаков с горизонтом воды в реке, — повреждена всасывающая линия; если уровень упал — повреждена самотечная.

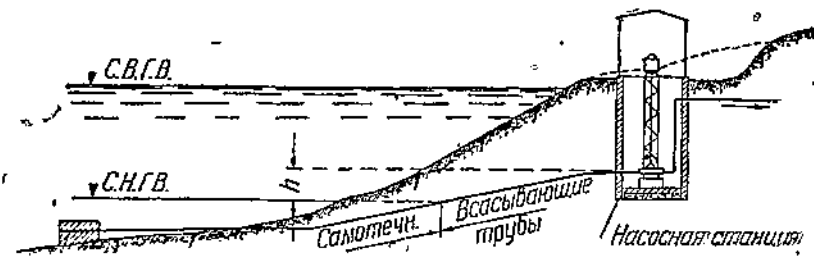


Рис. 343

Ввиду сказанного схема по рис. 343 без берегового колодца могла бы находить применение лишь в редких случаях (временное водоснабжение, сравнительная чистота воды в реке).

В отдельных случаях береговой колодец совмещается с насосной станцией; примеры подобных устройств приведены далее.

Детали водозаборных сооружений с самотечными линиями

Береговой колодец. Размеры приемного и всасывающего отделений каждой секции берегового колодца определяются числом и диаметрами самотечных и всасывающих труб и другого оборудования;

понятно, что размеры эти должны быть достаточны для удобной работы обслуживающего персонала [1].

В плане колодец имеет очертание круглое, овальное, прямоугольное, в зависимости от размеров, материала и способа производства работ по устройству.

Колодец желательно делать незаливаемым, причем верхнее служебное перекрытие, с которого производится управление задвижками, сетками и другим оборудованием, располагать на 0,5—1,0 *м* выше самого высокого горизонта воды в реке. Это перекрытие рационально делать разборным для удобства монтажа оборудования, его ремонта, смены и т. п. Разделительные стенки между секциями целесообразно выводить на всю высоту колодца; эти стенки во всасывающих отделениях колодца желательно снабжать окнами со щитами или другими затворами, которые открываются лишь для перепуска воды из одной секции в другую.

На рис. 344, *а* и *б* приведен пример железобетонного берегового колодца из двух секций с двумя самотечными и четырьмя всасывающими линиями. Промывка самотечной линии — обратным током воды через всасывающую линию, для чего предусмотрена вспомогательная линия с постановкой на ее устье тарельчатого клапана. Как легко усмотреть из рис. 344, *а*, этой схеме присущ тот недостаток, что соединительная линия вызывает уменьшение площади сеток, помещаемых в колодце. На рис. 345 приведен пример деревянного берегового колодца для небольшого водоснабжения. Нижняя часть его представляет собой шпунтовый ящик прямоугольной формы в плане; на верх ящика ставится сруб по типу шахтных колодцев.

Деревянные береговые колодцы вследствие постоянных колебаний горизонтов воды в реке могут быстро загнивать; следствием этого может быть некоторое ухудшение качества получаемой воды, что надо иметь в виду при питьевом водоснабжении.

Кроме того, в деревянный колодец может притекать подземная вода большой жесткости.

На рис. 346 и 347 показан пример совмещения насосной станции с береговым колодцем.

Береговой колодец может быть заменен двумя железобетонными цилиндрами — колоннами, помещенными внутри насосной станции. Для обеспечения герметичности колонны в толще ее стенок заключена тонкая стальная цилиндрическая оболочка («рубашка») толщиной порядка 2—3 *мм*. Внутри колонны — плоские подъемные сетки для процеживания воды. При большой глубине насосной станции и берегового колодца вместо этих двух отдельных сооружений может оказаться выгодным устройство упомянутых колонн [2].

Оголовки. Самотечные линии как малых, так и больших (1,0 *м* и более) диаметров выводятся иногда в точки приема воды стояками (рис. 348), имеющими на своих концах воронки; отверстия последних снабжают грубыми решетками и обращают вниз по течению реки в целях меньшего вовлечения в трубы взвешенных примесей речной воды. Это целесообразно и с точки зрения обратной промывки самотечных линий.

---

[1] Иногда полагают необходимым рассчитывать приемное отделение колодца как песколовку. При малых диаметрах труб самотечной линии это часто не вызывает существенного увеличения размеров отделения и удорожания устройства колодца. Наоборот, при больших диаметрах, расчет приемного отделения как песколовки может приводить к неоправданно большому увеличению его размеров, а также затрат материалов и времени на устройство его; в таких случаях нет надобности вести расчет приемного отделения как песколовки.

[2] По данным инж. Н. И. Соколова (Госводоканалпроект НККХ РСФСР), предложившего этот тип устройства.

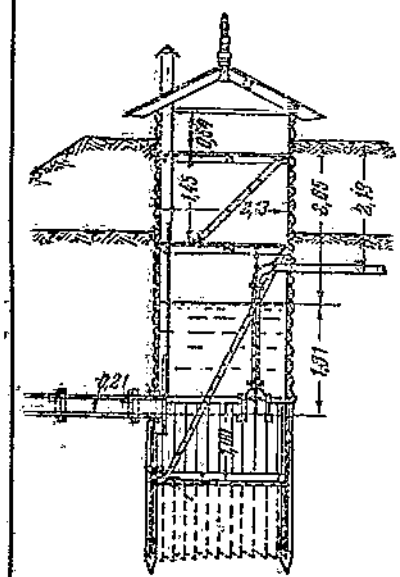


Рис. 345

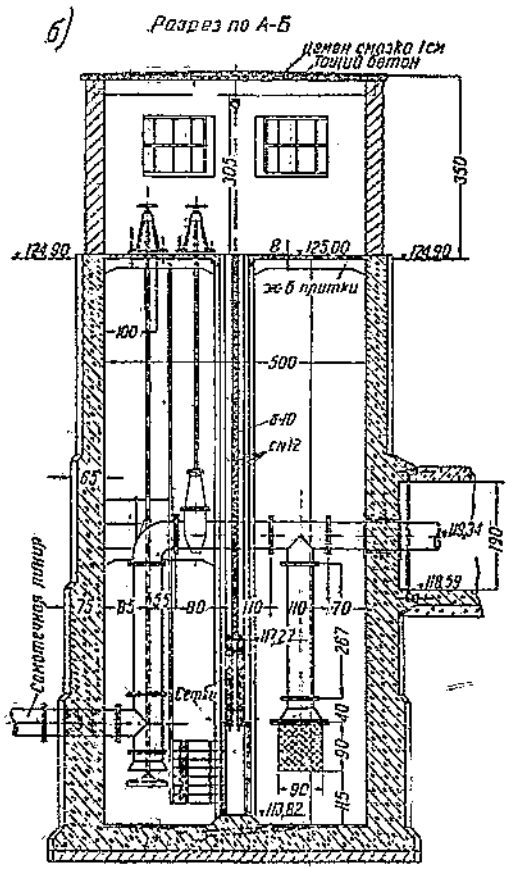


Рис. 344б

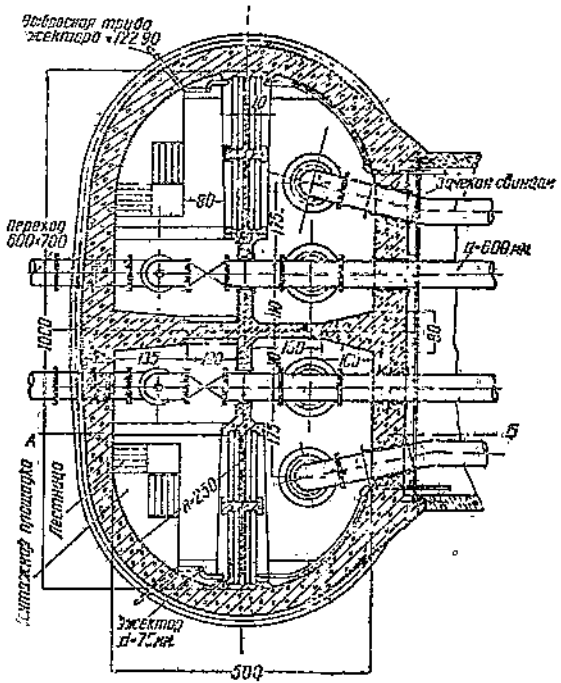


Рис. 344а

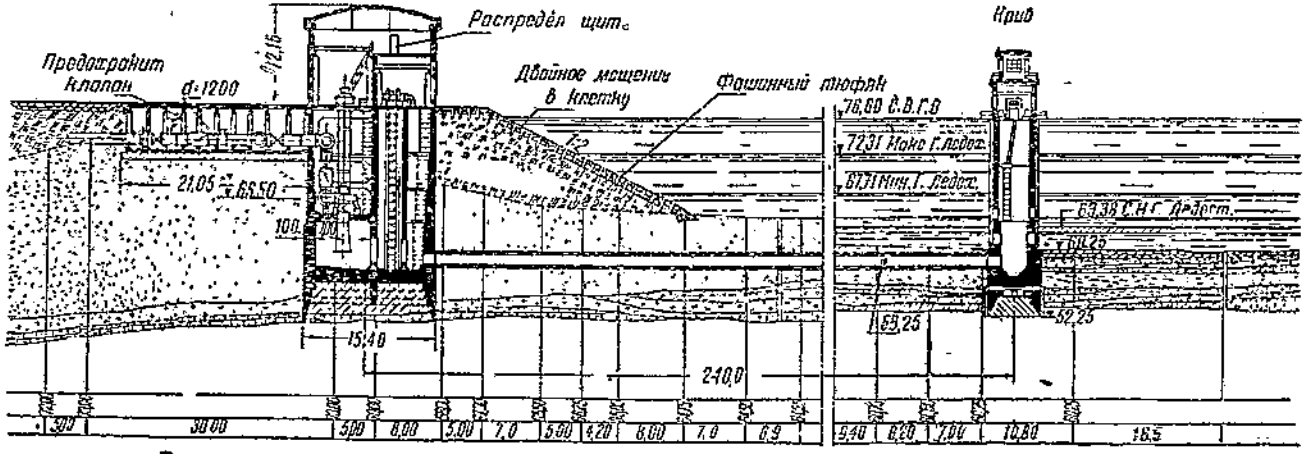


Рис. 346

План

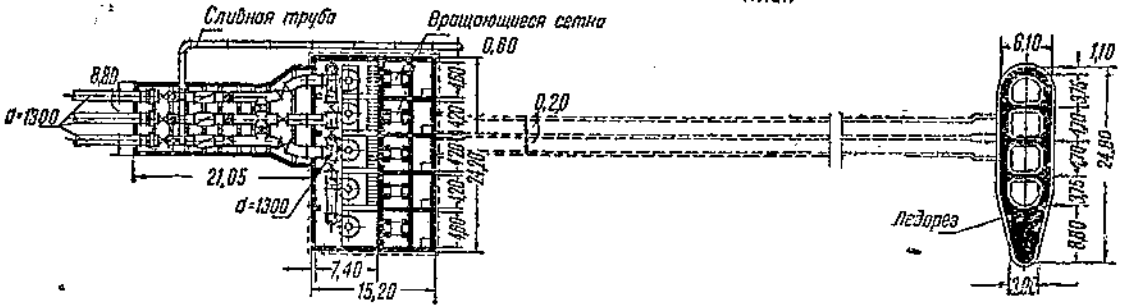


Рис. 347

Так как вертикальный стояк по рис. 348 требует постановки двух колен, то его делают нередко косым под углом около 45°.

На рис. 349 в качестве примера подобного устройства показан стояк по типовому проекту Центроспецстройпроекта. Самотечная линия из труб диаметром 350 *мм* поднимается над дном реки под углом 45° стояком, который состоит из одного колена и воронки с входным отверстием диаметром 600 *мм*, перекрытым решеткой из вертикальных стержней 15×15 *мм*. Стояк укреплен на деревянной раме, имеющей размеры 1,8×1,8 *м* и состоящей из брусьев 20×15 *см*, которые расположены в три ряда.

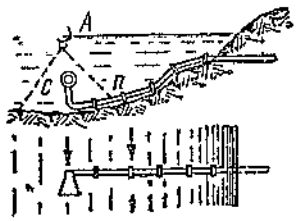


Рис. 348

Устройство указанной рамы вызывает усложнение и удорожание работ, а кроме того, при обычно применяемых стальных трубах самотечных линий оно оказывается в большинстве случаев ненужным; для обеспечения определенного положения стояка бывает достаточно постановки простейших подпорок, упирающихся в дно реки.

Рассмотренные стояки нецелесообразны на сплавных реках. Они не обеспечивают бесперебойного забора воды из рек, опасных в отношении глубинного льда.

Для защиты стояков их окружают иногда сваями или кустами свай (по 3 шт. в кусте).

Для приема воды с различных глубин стояки делают подвижными с шарнирными (сальниковыми) присоединениями к самотечным линиям.

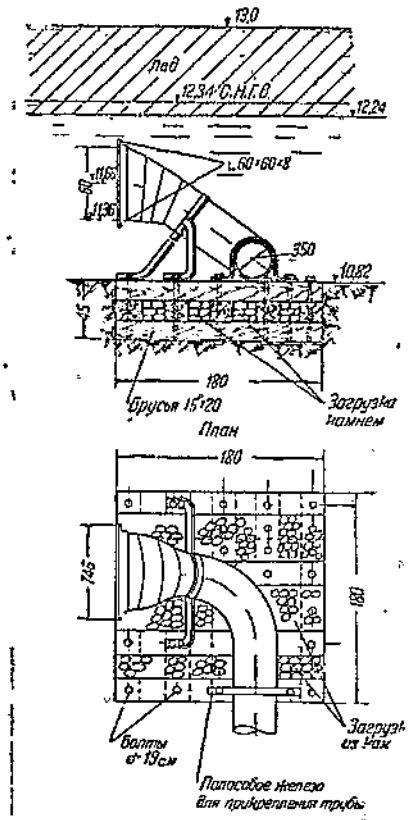


Рис. 349

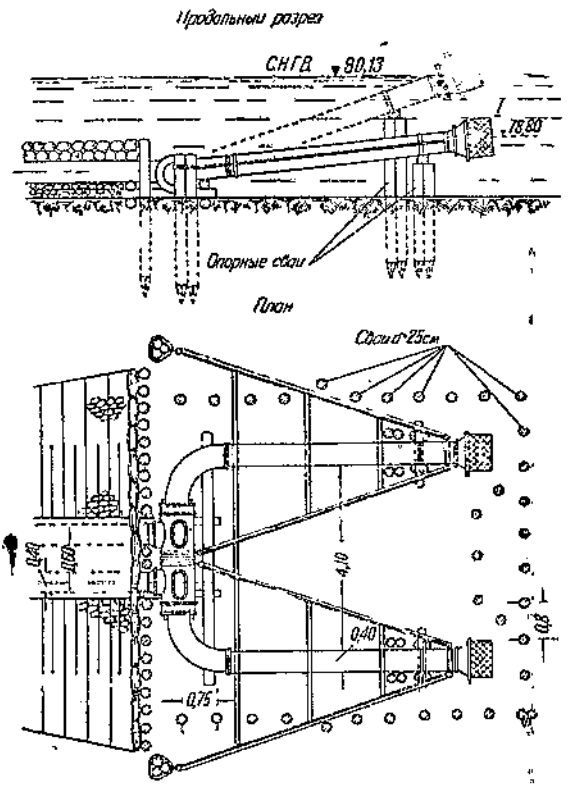


Рис. 350

На рис. 350 показано подобное устройство для получения из р. Камы воды по двум самотечным линиям диаметром 400 *мм*.

На рис. 351 показан оголовок, получивший большое распространение в водоснабжениях населенных мест и промышленных предприятий. Оголовок представляет собой массив из дерева с камнем, имеющий в плане форму, удовлетворительно обтекаемую речным потоком. В массиве заложены устья двух самотечных линий в виде сварных конически расходящихся патрубков, имеющих у лицевой грани оголовка площади входных сечений, значительно бо́льшие, нежели площади се-

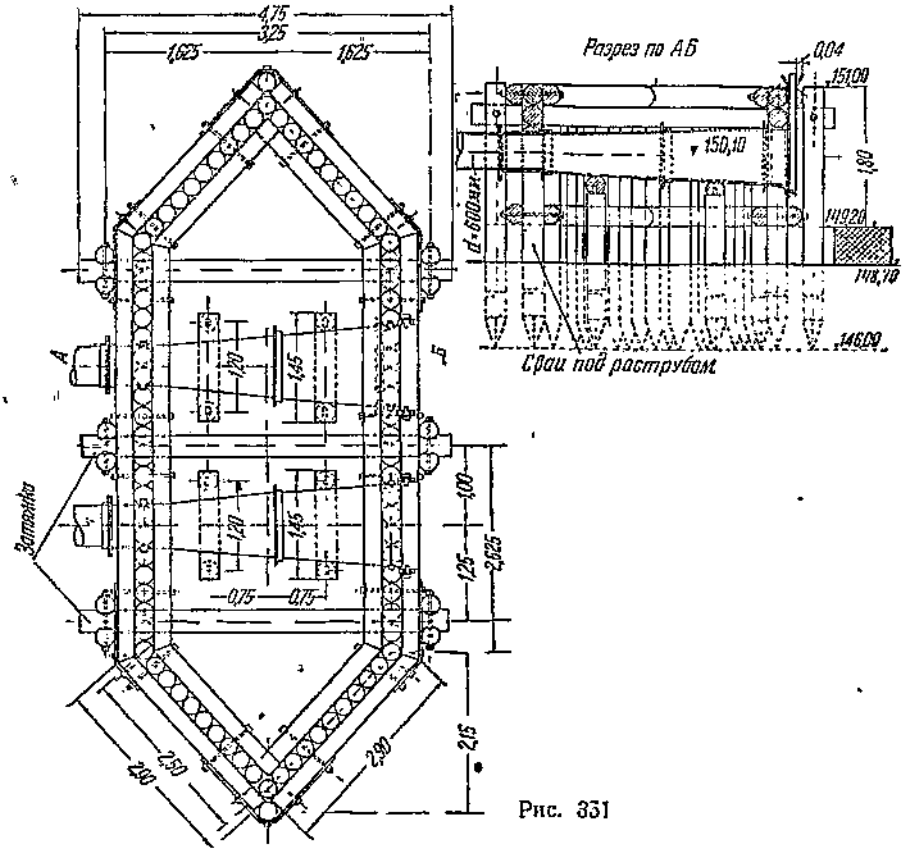


Рис. 351

чений самотечных линий, в целях обеспечения возможно малых скоростей поступления воды из реки. Длина и ширина массива определяются в зависимости от числа самотечных линий, размеров их концевых патрубков, расстояний между ними, а также от конструктивных условий.

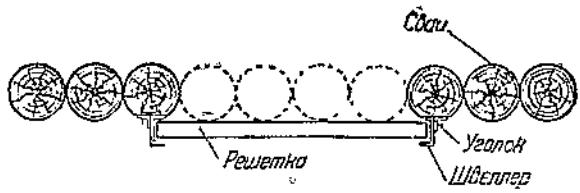


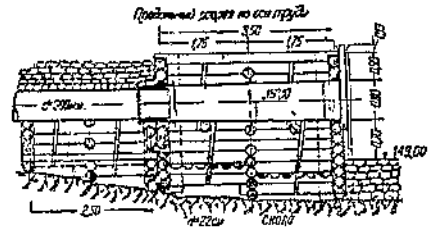
Рис. 352

В местах расположения самотечных линий сваи оголовка спиливаются, а оставшийся промежуток над патрубками забирается горизонтальными бревнами. Режущее ребро оголовка следует защищать от повреждений, например покрывая его котельным железом. К сваям, ближайшим к патрубкам, прикрепляются при помощи уголков швеллеры, в пазы которых закладываются грубые решетки; для облегчения установки последних под водой верхние части швеллерных полок обычно несколько отгибаются, как показано на рис. 352.

Дело обстоит сложнее, когда направляющие для решеток монтируются в одно целое с патрубками и вместе с последними опускаются под воду.

Для предупреждения подмыва оголовка речное дно укрепляется.

При грунтах, не допускающих забивки свай, оголовок этого типа делается ряжевым (рис. 353). Ряж рубится на берегу и на плаву подводится к месту опускания на дно реки, которое должно быть предварительно спланировано соответственным образом. Для погружения ряж заполняется камнем, почему в нижней части его (например, на втором венце от низа) устраивается из пластин дно. Чтобы при засыпке камня не повредить концевых патрубков самотечных линий, которые закладываются в ряж заранее, над ними устраивается потолок из съемных пластин. В зимнее время при наличии на реке ледяного покрова рубка ряжа может производиться на нем у места последующего опускания. Ввиду удобства приемов производства работ по устройству ряжевых оголовков их применяют иногда и при наличии мягких грунтов с защитой от подмыва.



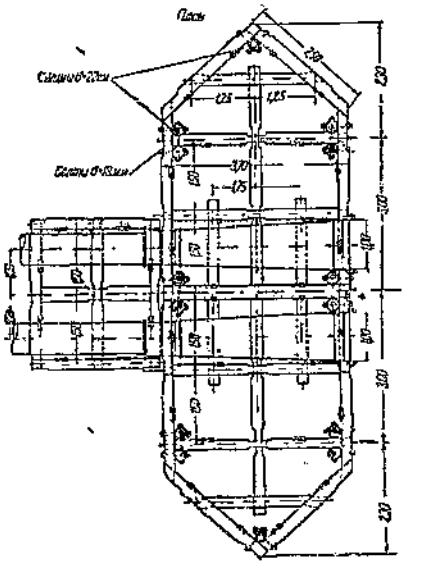


Рис. 353

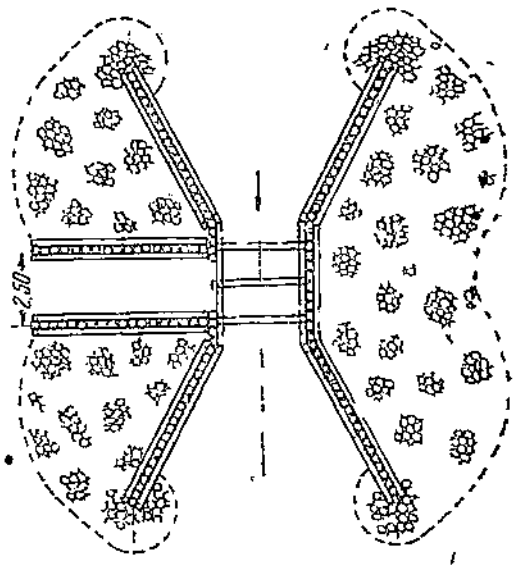


Рис. 354

Как недостаток оголовка рассмотренного типа следует отметить то обстоятельство, что при промывке одной из самотечных линий обратным током воды последняя выносит смываемые загрязнения к устью соседней линии. Устройство одного общего оголовка для нескольких самотечных линий имеет недостаток и с точки зрения условий МПВО.

В водоснабжениях населенных мест и промышленных предприятий встречаются оголовки, получившие распространение в 1930—1935 гг. и называемые эжекторными. Такой оголовок (рис. 354) состоит из двух — обычно деревянных (свайных или ряжевых)—массивов обтекаемой формы. Между массивами «эжектора» в наиболее суженной его части и помещены концы самотечных линий в виде раструбов, обращенных своими отверстиями по течению реки. В предположении, что некоторое увеличение скорости в этой суженной части предупредит заход приемных отверстий труб осадками из воды, и применялись эти оголовки. Если такое предположение было подтверждено экспериментальными исследованиями в гидравлической лаборатории, то данные практики не подтвердили этого для всех построенных эжекторных оголовков.

Оголовок по рис. 355 представляет собой по существу ящик — деревянный или железобетонный, — в стенках которого сделаны мно-

гочисленные прямоугольные или круглые отверстия малых размеров. Внутри ящика — короткие стояки самотечных линий. Общая площадь отверстий в стенках ящика в 10—15 раз больше площади сечения самотечных линий. Это позволяет обеспечивать поступление воды с ничтожными входными скоростями, что весьма важно для борьбы с донным льдом и шугой. В стенках железобетонных ящиков отверстия — круглые диаметром порядка 100 *мм* или прямоугольные.

Если ящик — деревянный, то он часто выполняется как ряж, между пластинами которого имеются специально оставленные щели, играющие роль отверстий. Нередко вокруг ящика делается обсыпка из крупных камней; боковая поверхность ее сравнительно с сечением самотечных линий громадна, и прозоры между камнями могут увеличивать рабочую площадь для притока воды и уменьшать его скорости.

На рис. 355 и 356 приведен пример такого оголовка в виде железобетонного ящика прямоугольной формы, состоящего из двух секций,

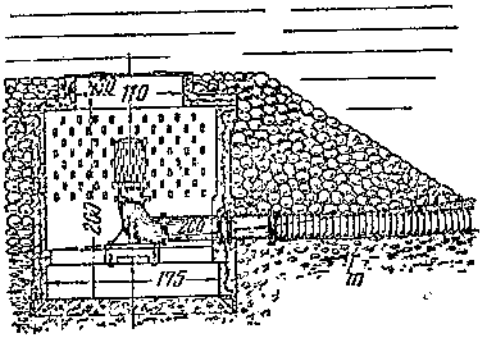


Рис. 355

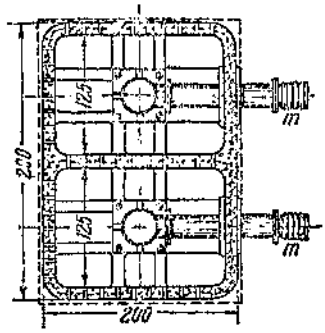


Рис. 356

из которых каждая имеет размеры 1,75 × 1,25 × 2,0 *м*. Стенки — толщиной 130 *мм* с прямоугольными отверстиями 30 × 90 *мм*. Общая площадь их примерно в 12 раз больше площади сечения двух самотечных линий диаметром 200 *мм*, концы которых в виде коротких стояков укреплены внутри ящика; вокруг последнего — обсыпка из крупного камня.

На рис. 357 показан деревянный оголовок, представляющий собой ряж, внутрь которого вода поступает через узкие щелевидные

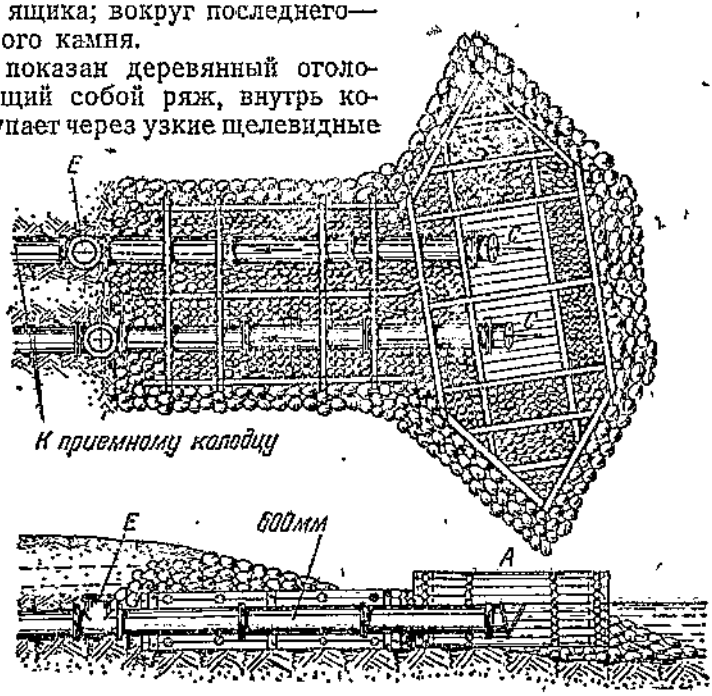


Рис. 357

прозоры между бревнами стенок. Внутри ряжа — камера с плотным полом, разделенная на две секции; здесь и заложены устья самотечных линий диаметром 600 *мм*, снабженные металлическими дисковыми затворами на шарнирах; обычно они открыты и удерживаются в этом положении при помощи самозапирающихся собачек и цепей. По выходе из оголовка самотечные линии лежат на дополнительном небольшом ряже; вблизи последнего на самотечных линиях установлены тройники с фланцами, обращенными кверху для возможности прочистки линий. Оголовок этот по данным проф. Н. Г. Малишевского практически не страдает от донного льда и шуги, хотя и находится в сравнительно неблагоприятных условиях в отношении глубинного льда.

В простейших водоснабжениях оголовок устраивается в виде ящика из шпунтовых рядов, в досках которых делаются круглые отверстия диаметром 25—30 *мм* для прохода воды; вокруг ящика — каменная обсыпка.

На рис. 358 показан оголовок крупного масштаба в виде криба (ср. стр. 257). Связь его с берегом осуществляется на лодках и лишь в отдельных случаях при помощи моста.

В крибе желательно помещать неподвижные сетки; это будет способствовать защите самотечных линий от загрязнения, сетки же не вызовут существенного увеличения размеров сооружения. Вращающиеся сетки, ввиду их сравнительно больших

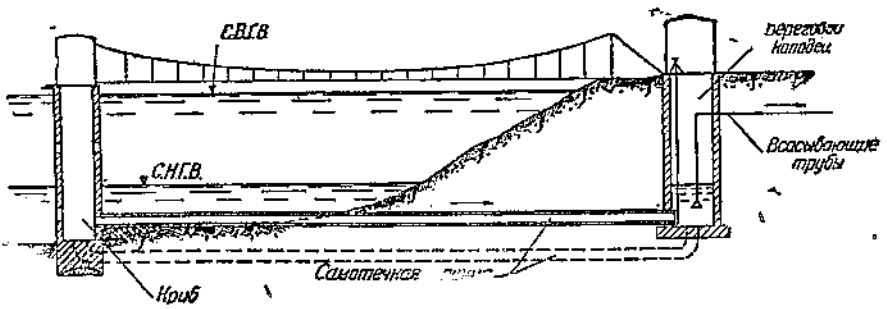


Рис. 358

габаритов, потребуют расширения криба и удорожания его устройства; поэтому такие сетки предпочитают располагать в береговом колодце; здесь, кроме того, легче осуществить их тщательную эксплоатацию.

В крибе надо предусмотреть сильные эжекторы или песковые насосы для удаления выпавших здесь из воды взвешенных примесей; надлежащее количество этих средств приобретает особое значение при большом загрязнении речной воды. В соответствующих случаях во входных окнах должны устанавливаться реостаты.

Криб-оголовок является очень дорогим сооружением и может быть допустим только в тех очень редких случаях, когда в силу тяжелых местных условий другие типы водозаборов не могут обеспечивать бесперебойного получения большого количества воды из большой реки.

На рис. 359 показан пример криба для забора воды в количестве 8 *м³/сек*. Криб разделен на две секции и имеет 18 приемных отверстий, размещенных почти по всему периметру. Из криба вода по двухсекционной железобетонной галлерее направляется к береговому колодцу, совмещенному с насосной станцией и оборудованному вращающимися сетками.

Самотечные линии. Диаметр самотечной линии при нормальной ее работе рассчитывается по скорости движения воды, принимаемой не менее 0,75—1,0 *м/сек*. Этим определяется потеря напора в самотечной линии h, влияющая на глубину берегового колодца. Только в редких случаях, когда вода в реке мало загрязнена взвешенными примесями, расчетную скорость можно понизить до 0,6 *м*, особенно если это важно для уменьшения глубины берегового колодца при тяжелых условиях производства работ.

Во всех гидравлических расчетах самотечных линий должны учитываться местные сопротивления движению воды; при малой длине

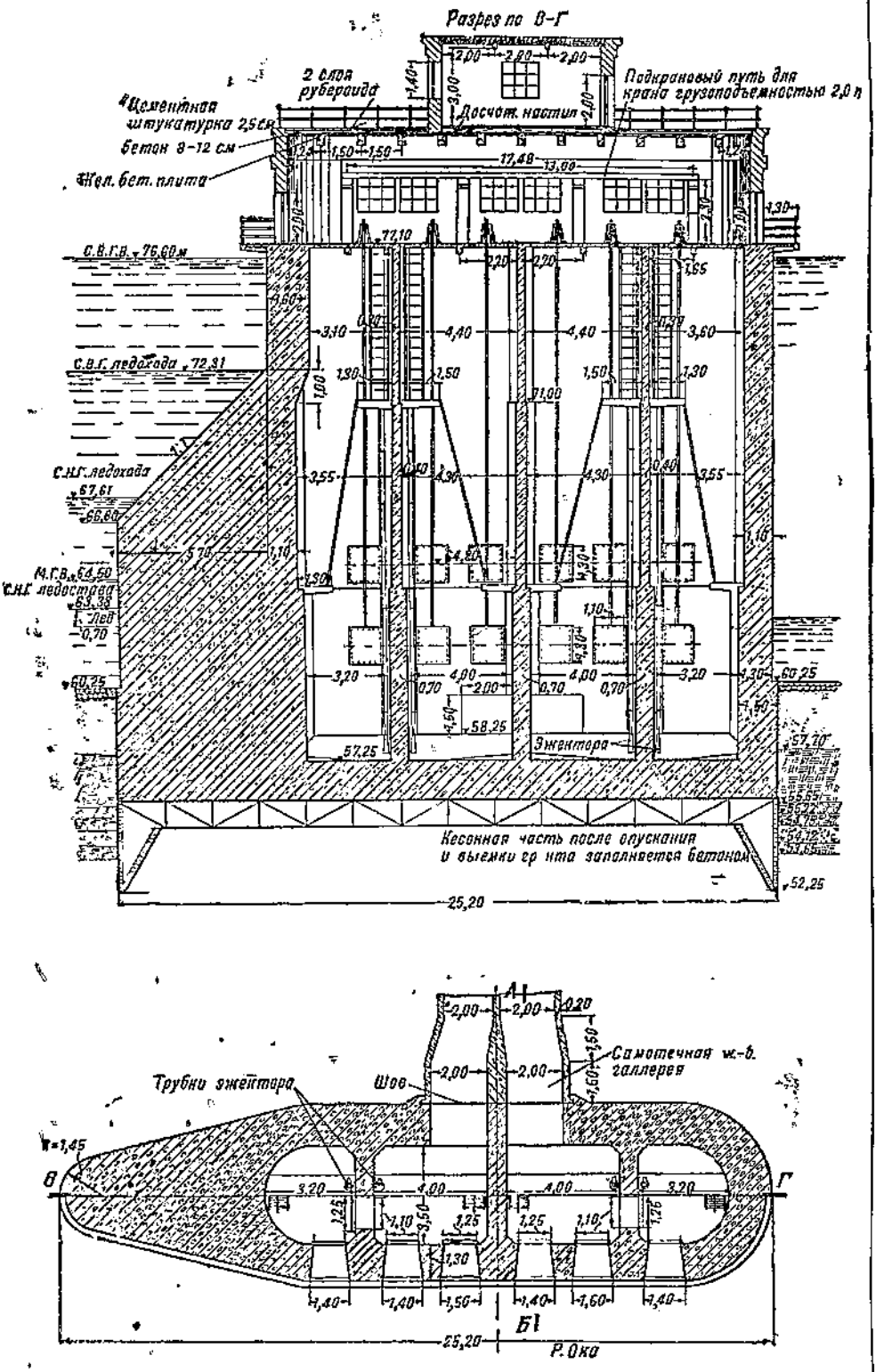

Разрез по В–Г
2 слоя рубероида
Цементная штукатурка 2,5 см
Бетон 8–12 см
Жел. бет. плита
Досчат. настил
Подкрановый путь для крана грузоподъемностью 2,0 т
С.В.Г.В. +76,60 м
С.В.Г. ледохода +72,81
С.Н.Г. ледохода
+67,61
+66,60
М.Г.В. +64,50
С.Н.Г. ледостава
+63,38
Лев
+60,25
+58,25
+57,25
Эжектора
Кессонная часть после опускания и выемки гр нта заполняется бетоном
+52,25
25,20
Трубки эжектора
Шов
Самотечная ж.-б. галлерея
В
Г
Б
Р. Ока

Рис. 359

самотечных линий они оказывают существенное влияние на величину h.

Число самотечных линий — не менее двух. Оно бывает и больше, при заборе значительных количеств воды во избежание нерационального увеличения диаметров линий. Наличие нескольких линий важно и с точки зрения маневрирования ими, когда, например, в связи с уменьшением количества забираемой воды, или по другим причинам, необходимо бывает выключать некоторые линии из действия.

Самотечная линия может укладываться с уклоном как в сторону берегового колодца, так и в сторону реки, в зависимости от следующих факторов: а) диаметра и длины линии, б) профиля дна реки и ее берега, в) отметок горизонта самых низких вод, нижней кромки льда и устья самотечной линии, г) способа промывки линии, д) глубины заложения, е) характера грунтов.

Что касается глубины заложения самотечной линии, то иногда речную часть ее прокладывают по дну.

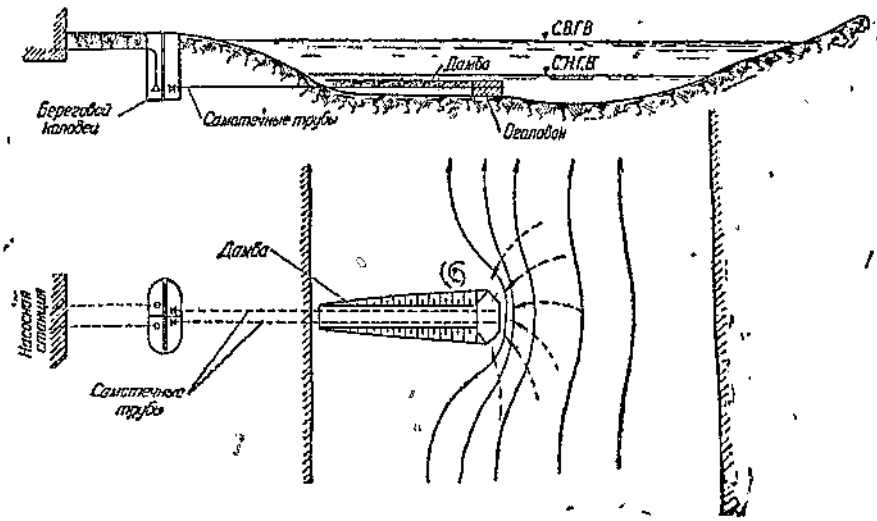


Рис. 360

Следует иметь в виду, что в этом случае самотечная линия (рис. 360) оказывается своего рода донной полузапрудой, а роль головы последней выполняет оголовок самотечной линии. При обтекании речным потоком оголовка около него могут возникать большие скорости течения, которые по некоторым данным, превышают иногда скорости воды в реке в 2—3 раза.

Ввиду этого у оголовка образуются области пониженного давления и вихревые воронки, к которым устремляются донные токи реки, как показано пунктиром на рис. 360; эти токи влекут донные наносы, затягивающиеся в оголовок и самотечные линии и забивающие их. Кроме того, устройство может вызывать большое стеснение живого сечения малой реки и отжим потока к противоположному берегу.

В силу сказанного прокладку самотечной линии по дну можно, а иногда даже целесообразно, допускать при получении воды из большой реки с защитой основания труб от размыва или при твердых породах дна, например скале. Но во всяком случае верх труб должен быть заглублен под нижней кромкой льда[1] не менее чем на 0,25—0,3 $м$.

Защита устойчивого положения самотечной линии от действия быстрого течения делается тогда путем закрепления ее специальными

[1] При самом низком ледоставе.

якорями [1], посадкой на нее загрузочных деревянных ящиков с камнем, обкладкой мешками с бетоном и др.

Вообще же самотечные линии должны прокладываться ниже дна реки. Только участок самотечной линии близ оголовка часто неизбежно приходится прокладывать по дну реки или даже несколько выше его с устройством основания и защитой последнего от размыва.

Что же касается укладки самотечной линии в береговой толще и около уреза воды, соответствующего горизонту самых низких вод, то здесь глубина заложения должна быть достаточна, чтобы предотвратить замерзание воды в трубах.

Для устройства самотечных линий весьма целесообразны стальные трубы: они хорошо сопротивляются динамическим воздействиям, обладают малым весом, допускают сравнительно быструю прокладку их.

С точки зрения расхода металла стальные трубы больших диаметров порядка 1 000 *м* нерациональны ввиду необходимости большой толщины стенок; для сокращения расхода металла за счет уменьшения толщины стенок — к поверхности труб приваривают кольца жесткости из уголков через каждые 1,0—0,5 *м*.

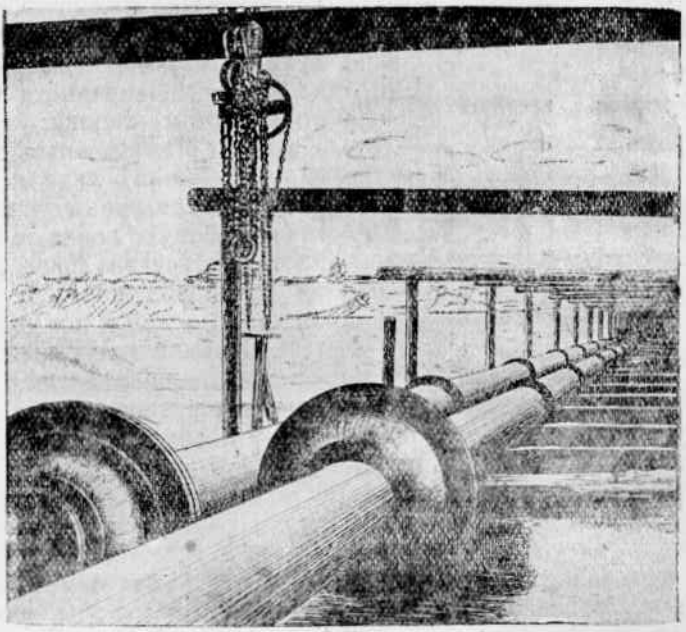


Рис. 361

Из труб неметаллических применяются бетонные, асбоцементные, деревянные. Последние при малых диаметрах могут быть звеновыми — заводского изготовления, а в простейших водоснабжениях — даже прямоугольного поперечного сечения с изготовлением их на месте. Крупные деревянные трубы больших диаметров непрерывного типа непригодны для самотечных линий ввиду недостаточной прочности их в отношении внешних нагрузок; ввиду этого при строительстве крупных водоснабжений из больших рек в районах, богатых лесом, применялись неоднократно деревянные самотечные линии в виде галлерей прямоугольного поперечного сечения.

При укладке речных частей самотечных линий могут находить применение те же приемы производства работ, что и для дюкеров. Если самотечная линия из стальных труб, то чаще она опускается в подготовленную траншею с плавучих или свайных подмостей, будучи предварительно собрана и испытана на свайных подмостях или на бе-

[1] Якори ставят парами по обеим сторонам самотечной линии и через нее перекидывают цепи, которые соединяют отдельные якори пары.

регу реки с последующей доставкой на плаву к месту укладки. При устройстве водозабора зимой опускание самотечных линий удобно производить со льда.

Тогда вдоль подготовленной траншеи оставляется прорубь (рис. 361); над нею по льду укладываются поперечные лежни, на которых и собирается вся линия труб. На льду же между лежнями устанавливаются деревянные рамы, к которым при помощи цепей и блоков подвешивается собранная самотечная линия; затем последнюю наполняют водой, опрессовывают, приподнимают над лежнями и, сдвинув их в сторону, погружают в траншею путем осторожного спуска цепей, производимого одновременно по всему протяжению самотечной линии.

В местностях с суровыми зимами применяют способ вымораживания (устройства ледяных перемычек) [1].

Пусть требуется уложить самотечную линию (рис. 362, *а*) на плотный грунт, выше которого находится сильно водянистый грунт, а над последним — вода. Пусть *m—m* представляет собой поверхностный лед. Последний окалывают над местом опускания самотечной линии на возможно большую глубину; при достаточно низкой температуре воздуха происходит нарастание льда на нижней поверхности (рис. 362, *б*) под местом околки; тогда представляется возможным делать дальнейшую околку льда и постепенно понижать получаемую таким путем искусственную ледяную выемку до плотного грунта (рис. 362, *в* и *г*). За образовавшимися ледяными стенками работу по укладке самотечной линии ведут почти насухо.

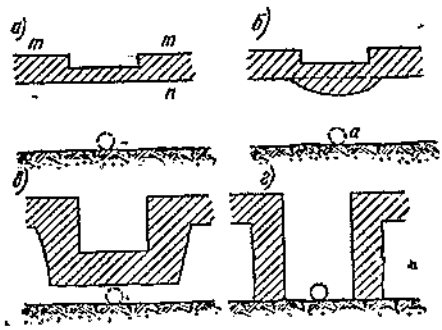


Рис. 362

Для большей успешности вымораживания прибегают (особенно на реках с сильным течением) к ограждению места работ деревянными щитами и к установке по внутреннему периметру огражденной площади стальных коленчатых трубок; последние снабжаются на концах лампами для обеспечения хорошей тяги холодного воздуха; трубки быстро обмерзают по всему периметру и образуют достаточную ледяную стенку.

При прокладке береговых частей стальных самотечных линий средних и малых диаметров могут применяться методы, используемые при укладке водопроводных труб без рытья траншей, — горизонтальное бурение, продавливание и комбинированный способ горизонтального бурения с последующим продавливанием. Эти методы особенно целесообразны при глубоком заложении труб и при тяжелых грунтовых условиях — плывун, скала и пр.; причем при грунтах слабых более пригодным будет способ продавливания; при грунтах крепких — способ горизонтального бурения.

При производстве работ методом продавливания, после устройства берегового колодца, в него с поверхности земли опускаются стальные трубы, которые имеют мелкие отверстия для прохода воды [2]; передний конец первой трубы снабжается стальным наконечником пулеобразной формы. При помощи домкрата [3], устанавливаемого в ко-

[1] В местностях, отличающихся оттепелями в зимнее время, этот способ оказывается на практике неудачным.

[2] Вода подается с поверхности земли насосом по трубам, монтируемым внутри продавливаемой линии.

[3] Давление от домкрата на продавливаемую линию может передаваться через глухой патрубок, надеваемый на задний конец последней трубы.

лодце (рис. 363) на некоторой высоте от его дна, трубы продавливаются по направлению к реке через отверстие в стенке колодца, снабжаемое сальником. Надлежащее направление продавливаемой линии можно обеспечивать, например, железными хомутами, которые укрепляются на деревянных рамах в береговом колодце. По выходе из береговой толщи продавленных труб, с них снимают наконечник и соединяют с речными частями самотечной линии. Для того чтобы после окончания работ можно было просто и легко удалить пулеобразный наконечник, к последнему приваривают ушки.

По данным проф. Макерова Н. С. такой способ был с успехом применен для прокладки двух самотечных линий длиной около 30 *м*

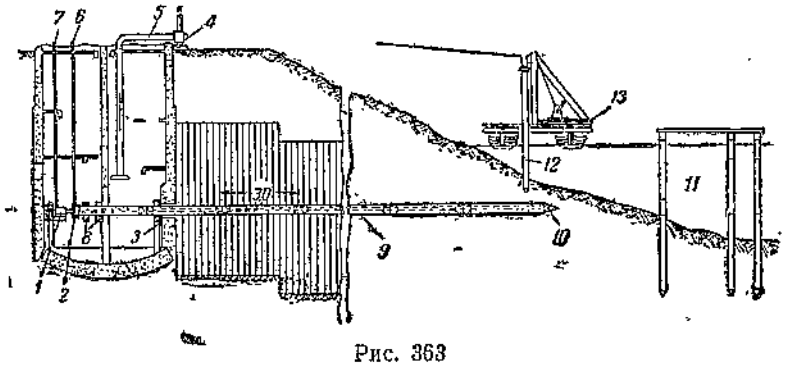


Рис. 363

из стальных труб диаметром 450 и 500 *мм* при устройстве водоснабжения Барнаульского меланжевого комбината из р. Оби; начатая прокладка самотечных линий обычным путем в шпунтовых ограждениях была оставлена ввиду поступления в траншею с ее дна плывуна.

Особо стоит вопрос о прокладке деревянных галлерей, которые, как отмечено выше, устраивались неоднократно для получения больших количеств воды. Каждая такая галлерея состоит из двух-трех секций; ширина и высота последних порядка 0,75—1,5 *м*. В береговой толще при глубоком заложении галлерея заменялась иногда железобетонной.

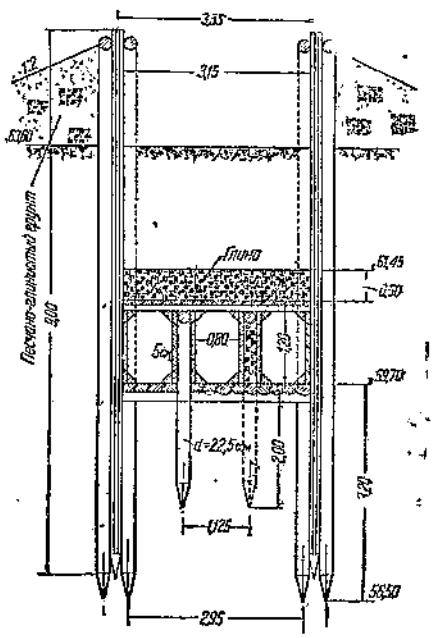


Рис. 364

Деревянная галлерея устраивается либо опускным способом, либо за перемычками; методом производства работ и определяется по существу ее конструкция. В первом случае шпунтовые ряды перемычек используются (рис. 364) в качестве основной конструкции наружных стенок галлереи, с внутренней стороны они обшиваются досками толщиной 50 *мм*; последние пришиваются иногда к брускам, которые выравнивают поверхность шпунтов; при этом промежутки между обшивкой и шпунтами заполняются глинобетоном, благодаря чему повышается водонепроницаемость галлереи. Дно галлереи из продольных брусьев с обделкой их в четверть; делают также дно двойным из досок 50 *мм* на ростверке по сваям; под дном — глиняная набивка.

Промежуточные стенки, разделяющие галлерею на секции, выполняются путем обшивки досками (в четверть) с двух сторон специально забитых свай и заполнения промежутков между ними глиной; иногда эти стенки — из двух рядов досок с прокладкой между ними толя. Для устройства потолка галлереи на продольные бревна, укрепляемые на упомянутых сваях, укладывается настил из пластин, а по ним настил из продольных досок (в четверть); сверх настила — слой глины.

При опускном способе работ для выполнения речной части галлереи устраиваются подмости (рис. 365): вдоль котлована под галлерею забивается два ряда свай, на которые укладываются поперечные балки, а по ним прогоны с рельсами. К сваям прикрепляются поперечины, на которых производится сборка заранее подготовленной галлереи и в которых закрепляются своими глухими концами подвески. Стенки галлереи — из брусьев; крайние углы ее усиливаются поясами, которые схватываются болтами в вертикальном и горизонтальном направлениях. Для удобства последующего подвешивания под нижний пояс

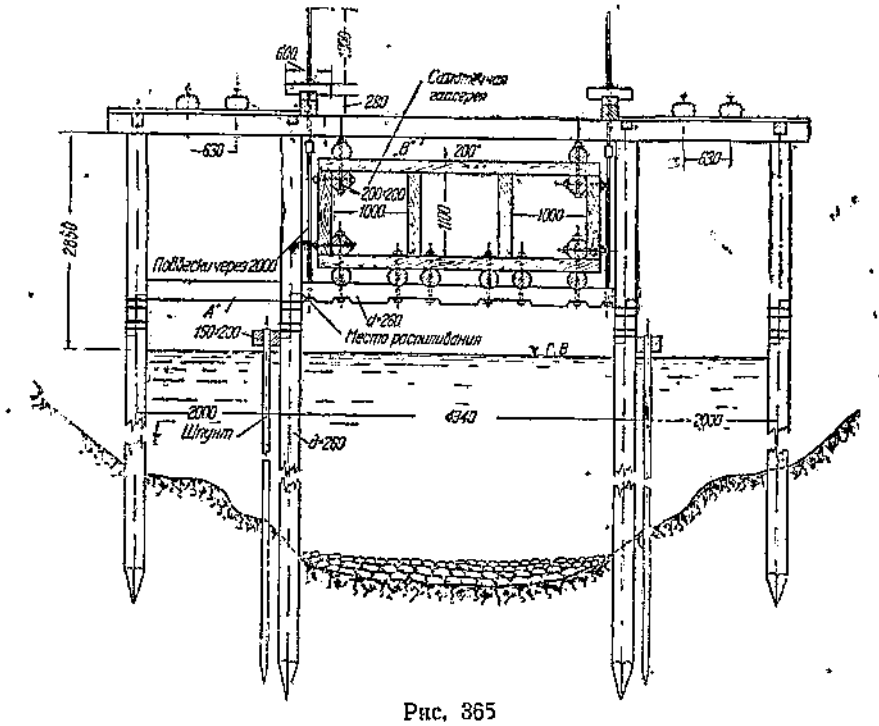


Рис. 365

подводятся бревна. После сборки галлерея путем точного, строго одновременного поворачивания гаек подвесок опускается; при частичном погружении галлереи в воду и приобретению ею плавучести она нагружается камнем и путем дальнейшего опускания ставится на выправленное дно траншеи.

При производстве работ опускным способом решение получается более экономичным, но несколько понижается надежность конструкций галлереи в эксплоатационном отношении.

Следует отметить большой недостаток некоторых построенных галлерей в отношении заносимости их песком. Причины заносимости[1]: а) малые скорости движения воды ввиду излишне больших размеров галлерей по сравнению с количеством забираемой речной воды; б) неплотности стенок и проникание (вследствие этого) песка внутрь гал-

[1] Помимо неудачного (в некоторых случаях) места расположения оголовка.

лерей; в) отсутствие в системе водозаборов средств для промывки галлерей; предполагавшаяся очистка их от наносов при помощи рабочих, которые проникали бы в соответствующие секции галлерей через предусматривавшиеся смотровые колодцы, оказалась непрактичной.

Указанные недостатки привели в некоторых единичных случаях к устройству вместо деревянных — железобетонных галлерей.

По окончании прокладки самотечных линий весьма важно проверять правильность их положения (с помощью водолазов).

Промывка самотечных линий. Различаются прямая промывка и обратная промывка. Прямая промывка производится путем создания в самотечных трубах повышенных скоростей течения воды.

Для этого поступают иногда так. Откачивают возможно больше воды из берегового колодца, закрыв предварительно затвор на конце самотечной линии. Затем быстро открывают последний. Тогда вода из реки движется в колодец с увеличенной скоростью. Однако это увеличение становится существенным лишь при повышенных горизонтах воды в реке.

По другому способу при двух самотечных линиях одна из них выключается из работы на время промывки другой.

Все количество воды, забираемое из берегового колодца насосной станцией, пропускается по промываемой линии со значительным падением уровня воды в колодце по сравнению с рекой. Во избежание излишнего дорогого заглубления колодца такую промывку приходится производить только при повышенных горизонтах в реке.

Прямая промывка не всегда осуществима и эффективна. Весьма затруднительно, особенно при больших поперечных сечениях самотечных линий, обеспечивать надлежащие скорости движения промывочных расходов.

Эта скорость должна быть достаточно велика, так как в противном случае транспортирование смываемых наносов становится уже невозможным; по данным проф. Леви И. И. транспортирующую скорость не следует брать менее 2,0—2,5 *м/сек*. Иногда численное значение промывочной скорости принимают в зависимости от размывающей скорости, например, согласно исследованиям проф. Соколова Д. Я., в 4—5 раз больше[1] размывающей скорости.

Осадки вообще очень прочно держатся на стенках труб, даже при больших скоростях воды, пропускаемой в обычном эксплоатационном направлении к береговому колодцу; они легче снимаются со стенок труб обратным током воды, а потому заслуживает предпочтения обратная промывка самотечных линий.

Обратную промывку самотечной линии наиболее рационально производить водой из соответствующей секции берегового колодца, которая должна быть предварительно наполнена возможно выше водой.

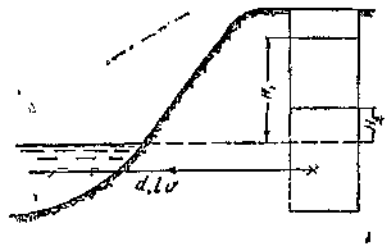


Рис. 366

Пусть (рис. 366) H_1 — напор в *м*, при котором начинают промывку; H_2 — напор в *м*, при котором ее заканчивают; t — время в сек., в течение которого происходит падение напора с H_1 до H_2; ω — площадь поперечного сечения берегового колодца в $м^2$, принимаемая постоянной по высоте; d — диаметр самотечной линии в *м*; v — скорость движения промывочной воды.

[1] Величину размывающей скорости для среднекрупного песка — в пределах от 0,35 до 0,7 *м/сек*, причем меньшая величина для гидравлического радиуса $R = 0{,}2$ *м*, бо́льшая же для $R = 2{,}0$ *м*.

Тогда для промежутка времени dt:

$$-\omega\, dH = \frac{\pi d^2}{4} v\, dt, \tag{1}$$

откуда:

$$-dH = \frac{\pi d^2}{4\omega} v dt. \tag{2}$$

С другой стороны,

$$H = \lambda_0 \alpha \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}, \tag{3}$$

где l — длина самотечной линии в $м$;

g — ускорение силы тяжести;

α — коэфициент, учитывающий местные сопротивления при движении промывочной воды;

λ_0 — коэфициент сопротивления при движении промывочной воды по длине самотечной линии при насыщении этой воды смываемыми осадками.

По Леви И. И. можно принимать

$$\lambda_0 = \lambda + \frac{c}{u} p^n.$$

Здесь c — гидравлическая крупность наносов;

u — скорость поступательного движения потока;

p — относительное содержание наносов в потоке;

n — показатель степени, принимаемый для больших насыщений и меньших скоростей равным 1,0, а для меньших насыщений и больших скоростей — 0,5;

λ — коэфициент сопротивления при движении воды чистой.

Из уравнений (2) и (3):

$$v = \sqrt{\frac{2gd}{\lambda_0 \alpha l}} \sqrt{H} = B\sqrt{H}, \tag{4}$$

если B принять равным

$$B = \sqrt{\frac{2gd}{\lambda_0 \alpha l}}. \tag{5}$$

Подставив выражение для v по уравнению (4) в уравнение (2), получим:

$$-dH = \frac{\pi d^2}{4\omega} B\sqrt{H}\, dt. \tag{6}$$

Обозначив $\frac{\pi d^2}{4\omega} B$ через k, будем иметь:

$$-dH = k\sqrt{H}\, dt. \tag{7}$$

Отсюда:

$$t = \int_{H_1}^{H_2} -\frac{dH}{k\sqrt{H}} = \frac{2}{k}(\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}). \tag{8}$$

Если допустить в конце промывки $H_2 = 0$, то:

$$t = \frac{2}{k}\sqrt{H_1}. \tag{9}$$

Если при λ по Маннингу $\lambda = \frac{0{,}018}{d^{0{,}33}}$ положить (ориентировочно): $\lambda_0 \alpha = 2\lambda = \frac{0{,}036}{d^{0{,}33}}$, то формула (8) получит вид:

$$t = 0{,}11\omega \sqrt{\frac{l}{d^{5{,}33}}} (\sqrt{H_1} - \sqrt{H_2}), \tag{10}$$

а формула (9):

$$t = 0{,}11\omega \sqrt{\frac{l}{d^{5{,}33}}} \sqrt{H_1}. \tag{11}$$

Время t промывки невелико, а потому на береговых концах самотечных линий необходимо устанавливать затворы быстро открывающихся типов [1]; это особенно важно в тех случаях, когда высота берегового колодца недостаточно велика. После вычисления t средняя скорость движения промывочной воды по самотечной линии определится из выражения:

$$\frac{\pi d^2}{4} : vt = (H_1 - H_2)\omega,$$

т. е.

$$v = \frac{1{,}27\omega}{d^2 t}(H_1 - H_2). \qquad (12)$$

Описанный способ промывки дает надлежащий эффект лишь при достаточной высоте колодца и при низких горизонтах воды в реке. Обратную промывку производят также водой из напорных водоводов или насосами насосной станции, прокладывая соответственные линии промывочных труб.

Подвод последних и соединение их с самотечными линиями могут делаться различно; при этом надо стремиться к тому, чтобы не загромождать берегового колодца лишними трубами, фасонными частями, обеспечивать удобное управление задвижками, учитывать положение сеток в колодце и приспособлений для их подъема.

На рис. 344, *а, б* показана одна из применяемых схем обратной промывки напорной водой через всасывающие трубы C при помощи вспомогательной линии S, на которой устанавливается задвижка A и тарельчатый клапан K. Последний в обычное время опущен и подтягивается к устью линии S лишь при промывке самотечных труб. Шпиндель его пропускается внутри вертикального отростка вспомогательной линии. Всасывающие трубы на конце своем имеют в этом случае обратный клапан. В насосной станции должно быть соответственное переключение между нагнетательной и всасывающей линиями в обход насосов.

При больших диаметрах труб тарельчатый клапан затрудняет колодец, да и обратный клапан на всасывающей линии не устанавливается ввиду значительных сопротивлений при проходе воды через него. Кроме того, нежелательно излишне усложнять оборудование насосной станции указанным соединением нагнетательной и всасывающей линий. Поэтому рационально подводить к береговому колодцу особый напорный трубопровод, присоединяя его к самотечным линиям внутри колодца или вне последнего в специально устраиваемой шахточке.

Борьба с глубинным льдом. Борьбу с закупоркой глубинным льдом речных концов самотечных линий и самих линий ведут иногда путем обратной промывки последних; способ этот, будучи достаточно эффективным в одних случаях, не дает надежных результатов в других, особенно при больших количествах забираемой воды.

При подогреве электротоком в случае, если самотечная линия оканчивается стояком с воронкой (по рис. 348), в устье последней устанавливается и скрепляется с нею рама в виде деревянного кольца, собираемого из отдельных сегментов, а внутри рамы помещается решетка — реостат; к концам ее прикрепляются концы кабеля, прокладываемого с берега реки. На рис. 367 показана для примера воронка с реостатом на речном конце самотечной линии диаметром 1 200 *мм*, длиной около 120 *м* от берега и пропускающей секундный расход в 1 250 *л*. Центр воронки возвышается над дном реки на 1,5 *м*, а ось ее направлена под углом 45° к течению. В воронке помещается кольцевая дубовая рама из брусков 100 × 240 *мм*, соединяемая с воронкой при помощи болтов. В просвет рамы вставлена решетка из полосового

[1] Например, клапаны при больших диаметрах труб, пробки (деревянные) — при диаметрах малых.

железа 10 × 75 *мм*, многократно изогнутого и связанного с рамой болтами; общая длина ленты реостата равна 19,0 *м*. Свободные концы железной полосы выведены из рамы, и к ним прикреплены концы кабеля. Для питания реостата применен низковольтный трансформатор 60 *квт*, установленный в особой будке на берегу.

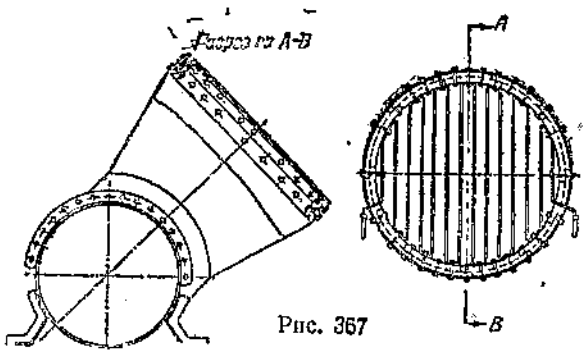


Рис. 367

Как недостатки описанных устройств следует отметить: 1) недоступность реостата для осмотра в любое время при отсутствии водолаза; 2) опасность повреждения кабеля и длительное время для его исправления; 3) сложность и нерациональность конструкции решетки-реостата при малых диаметрах самотечной линии.

Что касается применения пара или горячей воды, то это могло бы иметь место лишь в очень редких случаях при малой длине самотечной линии.

Примеры водозаборных сооружений с самотечными линиями. На рис. 368а и 368б показан пример компоновки водозабора с самотечными линиями, которые имеют бетонный оголовок; последний устроен затопляемым: верх его на 0,5 *м* ниже среднего меженнего горизонта реки; оголовок состоит из двух секций. В передней стенке каждой секции — два вертикальных ряда окон по четыре окна в каждом из них; окна могут закрываться шандорами, для постановки которых предусмотрены швеллеры, прикрепленные к передней стенке. Верхняя часть торцевой стенки, обращенной против течения, скошена наподобие небольшого ледореза и покрыта броней из котельного железа. Из каждой секции оголовка к насосной станции идет самотечная линия длиной около 50 *м* из железобетонных труб внутреннего диаметра 900 *мм* с толщиной стенок 150 *мм*. Примерно по середине самотечных линий — каменный колодец, выполняющий роль смотрового; он — двухсекционный, и в передней стенке его предусмотрены окна для аварийного приема воды. Берегового колодца в узле рассматриваемых водозаборных сооружений нет, и самотечные линии оканчиваются в подвальном помещении насосной станции.

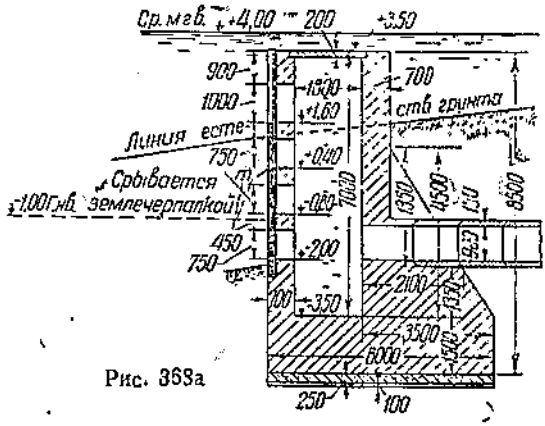


Рис. 368а

На рис. 369 показан водозабор с сооружениями, заложенными в толще высокого берега. Самотечная линия *К* подводит воду в камеру сеток *А*; пройдя через них, вода поступает в колодец *М* всасывающих труб насосной станции *Н*, которая устроена в виде горизонтального железобетонного цилиндра; вход в нее по вертикальной шахте *Р*, которая имеет надземный павильон *П*.

Такой водозабор, представляющий интерес по условиям МПВО, имеет с этой точки зрения тот существенный недостаток, что верхние

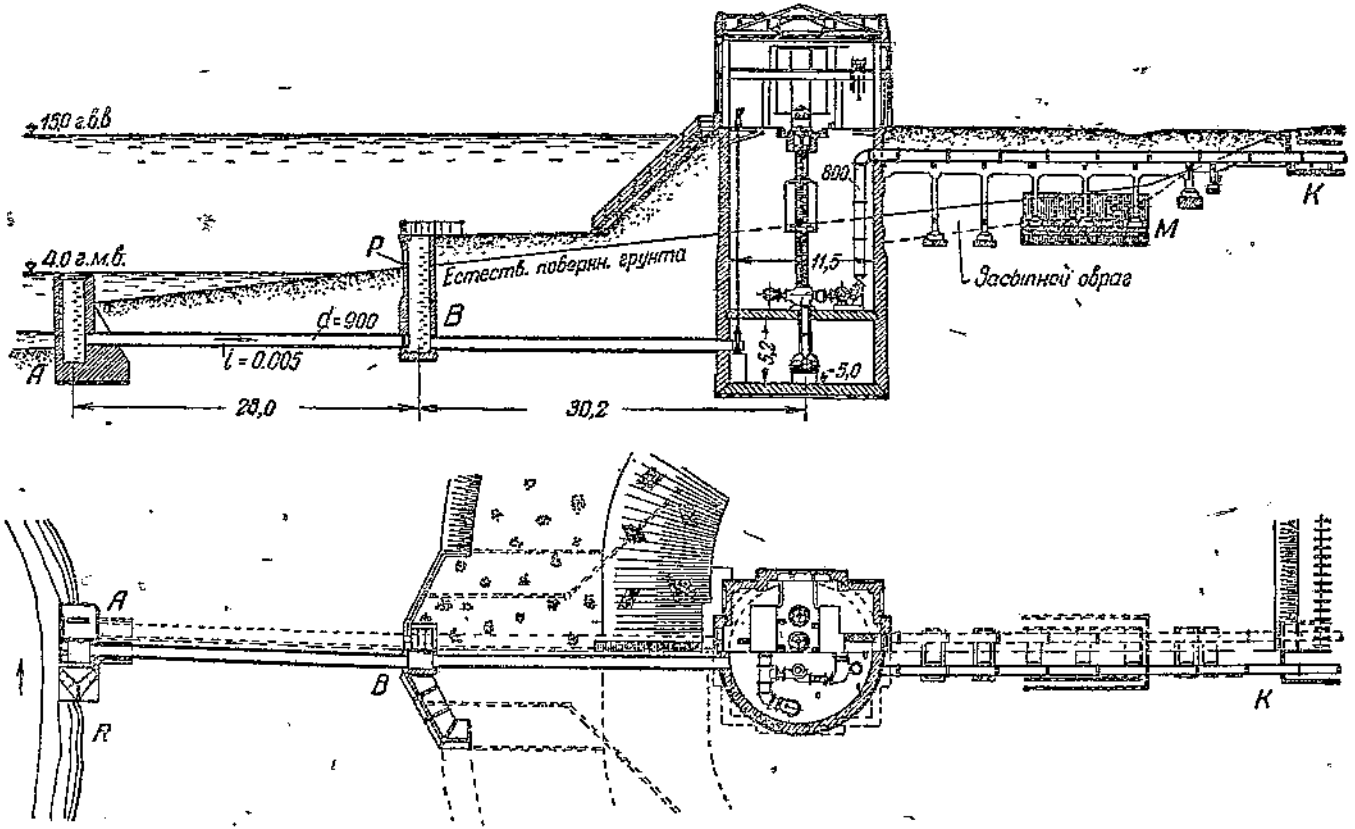

150 г.б.в
4,0 г.м.в.
P
Естеств. поверхн. грунта
d=900
i = 0.005
A
B
28,0
30,2
800
11,5
5,2
5,0
M
K
Засыпной овраг
A
B
R
K

Рис. 368б

части сооружений (камеры *А*, колодца *М* и павильона *Р*) выступают над поверхностью берегового откоса.

На рис. 370 приведен водозабор с самотечной галлереей и вращающимися сетками, расположенными в береговом колодце. Последний представляет собой большое сооружение, состоящее из двух одинаковых, не зависимых друг от друга отделений. Каждое из них рас-

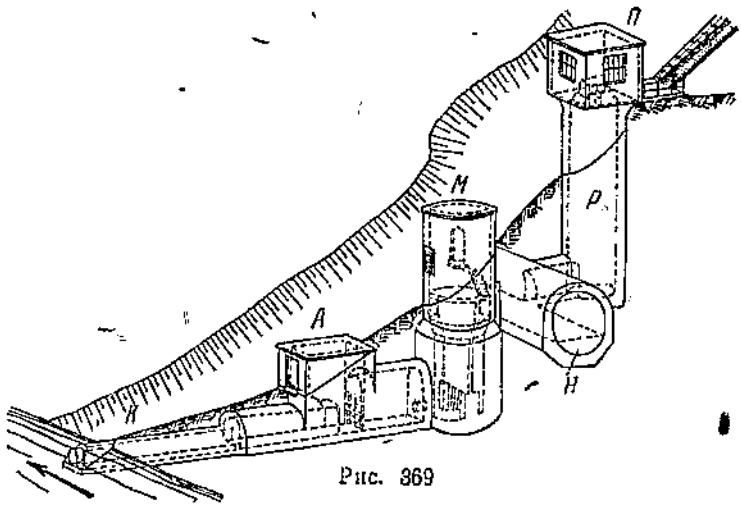


Рис. 369

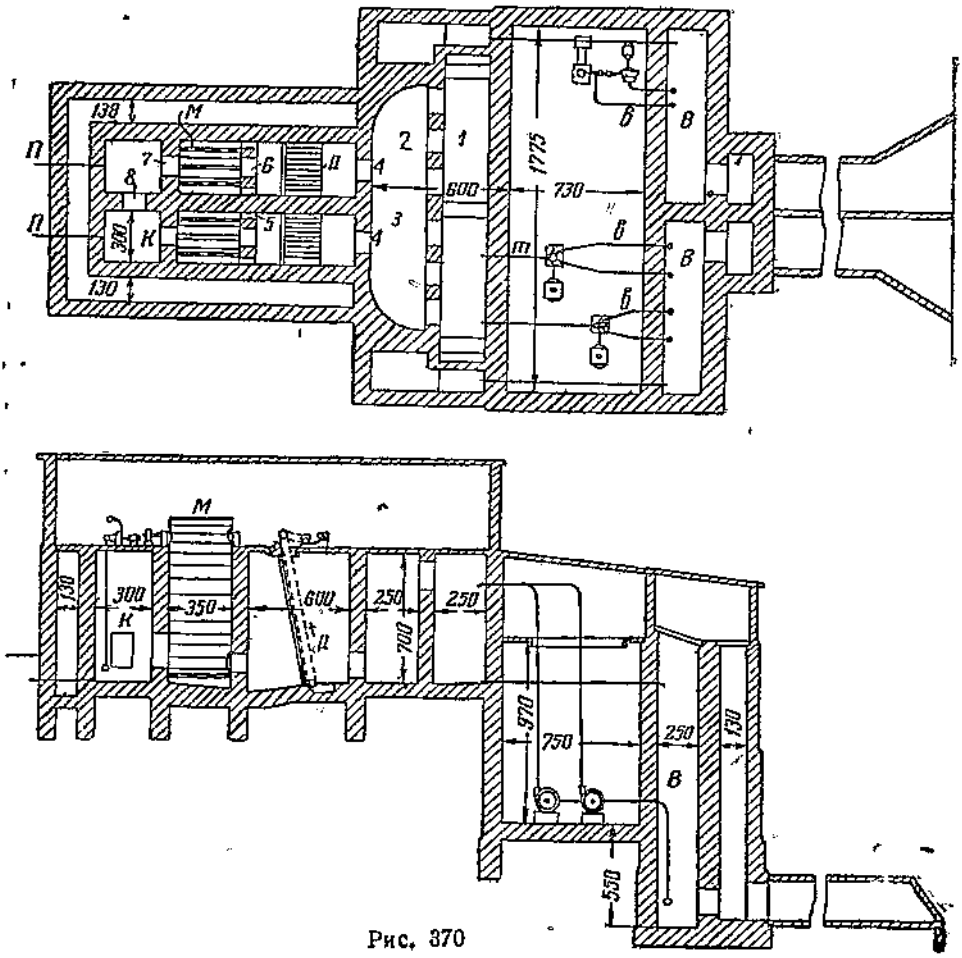


Рис. 370

считано на пропуск 1,5 $м^3$ воды в секунду. Вода из реки по деревянной галлерее, имеющей в голове грубые решетки, поступает в аванкамеру *B*, откуда забирается насосами *в* нулевого подъема и подается ими в камеру *1*; отсюда через окна *2* (с деревянными запорными щитками) вода направляется в камеру *3* и далее через окна *4* с шиберными затворами к неподвижной решетке[1], непрерывно очищаемой подвижными щетками. Дальше, вода через боковые окна *5* идет во вращающиеся сетки внешнего типа и через окна *7* поступает в камеры процеженной воды *K*, откуда уже забирается по трубам *n*. При каждой вращающейся сетке имеется аварийное окно *6*.

Для сообщения между обоими отделениями предусмотрено окно *8* с затвором. Все отмеченные камеры снабжены выпусками для удаления осадков. Для обслуживания устройства имеется обходный коридор *E*.

Водозаборные сооружения с сифонами. Неблагоприятные условия топографические, гидрологические и геологические (наличие плывунов, скалы и др.) могут требовать значительных средств и времени на

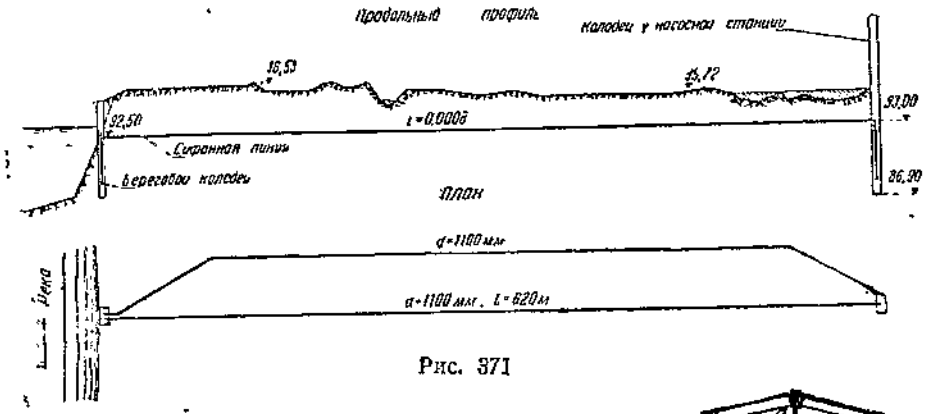


Рис. 371

укладку самотечных линий, имеющих глубокое заложение *H* (рис. 371). Такие устройства нежелательны и с эксплоатационной точки зрения. Все это может сказываться особенно тяжело при большой длине самотечных линий[2] при прокладке их, например, по широким поймам рек, заливаемым, высоко расположенным и пр. В таких случаях бывает рационально заменять самотечную линию сифоном, который укладывается на глубине *h*, меньшей, нежели *H*.

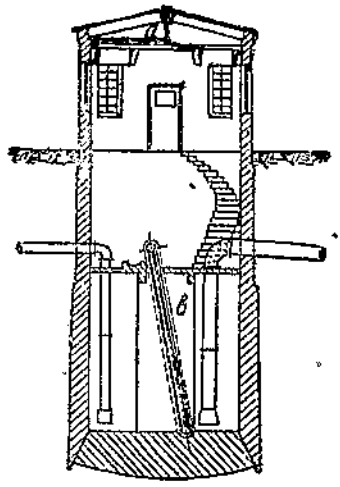


Рис. 372

Оголовки сифонов конструируются на тех же основаниях, что и оголовки самотечных линий. Точно так же и береговые колодцы, в которые опускаются вертикальные отростки сифонов: разница лишь в дополнительном оборудовании, касающемся установок для удаления воздуха из сифонов.

[1] Каждая решетка состоит из восьми сболченных между собой металлических плит (1,5 *м* шириной и 1,25 *м* высотой) со щелевидными отверстиями — прорезями 5 *мм* шириной. Общая ширина решетки — 3 *м*, высота щелевидной части под водой около 5 *м*, общая площадь решетки — 15 $м^2$, площадь отверстий 5,0 $м^2$, таким образом, при пропуске через решетку 1,5 $м^3/сек$ скорость прохода воды — около 0,3 *м/сек*. Для очистки решетки имеется шесть щеток, движущихся на цепях и расположенных через 2,5 *м*; щетки приводятся в движение электромотором мощностью около 5 *л. с.*

[2] Длина их может измеряться многими сотнями метров и даже километрами.

На рис. 372 показан береговой колодец при сифонном водозаборе, интересный в том отношении, что здесь установлены решетки с непрерывной очисткой их щетками *в*.

Вместо устройства глубокого берегового колодца возможно (в целях удешевления водозабора и ускорения его постройки) применять установку вакуум-котла.

§ 71. Ковшевые водозаборные сооружения

Сущность устройства и действия ковша. Ковшом в деле водоснабжения называют выдвинутый в реку и образованный при помощи дамбы бассейн, который в большинстве случаев имеет один вход для воды в одном из своих концов. Различают ковш с входом воды по течению (рис. 375) — ковш верхового питания и против течения (рис. 374) — ковш низового питания. Иногда рекомендуется устройство ковша, имеющего вход как на одном, так и на другом своем конце; при помощи шандоров один из входов можно закрыть, и поступление воды из реки будет происходить или по течению, или против

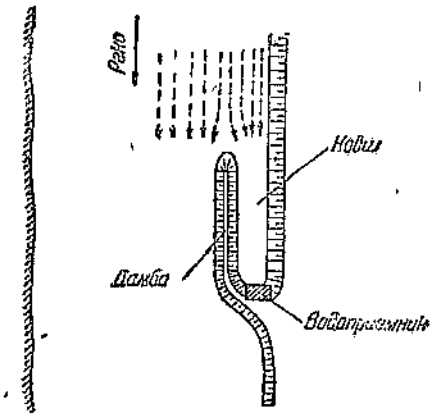


Рис. 373

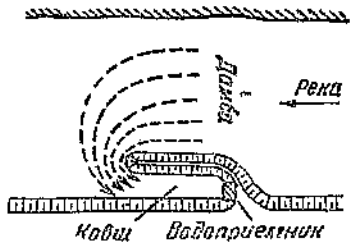


Рис. 374

течения; практически, однако, осуществлять это затруднительно. Ковши могут устраиваться также в виде бассейнов, врезанных в берега; среди них необходимо тоже различать ковши с питанием: верховым, низовым и двухсторонним [1].

Размеры входа в ковш и самого ковша берутся с расчетом, чтобы вода имела такие малые скорости, которые предотвращали бы образование донного льда; благодаря этим размерам ковш скорее, нежели река, покрывается поверхностным льдом, а при наличии последнего, как известно, донный лед не продуцируется [2] водой.

Что касается шуги, то она, несмотря на ничтожные входные скорости воды, может вовлекаться из реки в ковш, в частности, под его поверхностный лед, правда в небольших количествах.

Однако при малых скоростях течения воды шуга всплывает и при соответствующей длине ковша поднимается к поверхности воды или к нижней кромке льда, так что в точке, отнесенной на достаточное расстояние от входа, можно забирать воду, уже свободную от шуги.

Бассейн ковша работает и как отстойник на осаждение взвешенных наносов речной воды.

---

[1] Может быть также ковш смешанного типа, врезанный в берег, но имеющий дамбу, несколько выдвинутую в реку.

[2] Следует заметить, что в ковше, пока он не покрылся прочным льдом, все же может происходить образование донного льда в редких случаях сочетания способствующих этому обстоятельств

Ковш со входом воды против течения питается, главным образом, донными слоями воды, которые более — по сравнению со средними и поверхностными — свободны от шуги. Поэтому ковши со входом против течения применяют в случаях, когда угрозу для водозаборных сооружений представляет шуга, а не наносы. В более редких случаях, когда ковш предназначается для защиты водозаборных сооружений от наносов, предпочитают применять ковш со входом по течению, питающийся, главным образом, средними и поверхностными слоями воды, которые меньше, чем донные, насыщены наносами. Наконец, в тех случаях, когда ковш устраивается для борьбы как с шугой, так и с наносами, проектируют иногда применение ковша двухстороннего питания с тем, чтобы в периоды шугохода питание ковша производилось через низовое входное отверстие при закрытом верхнем, и наоборот.

Определение размеров ковша. Размеры ковша определяются по условиям всплывания шуги и осаждения наносов из воды. Размеры ковша и его входного отверстия должны быть, кроме того, достаточны для движения того пловучего снаряда, которым предполагают пользоваться для удаления из ковша осадков.

При расчете необходимой длины ковша на осаждение наносов прежде всего возникает вопрос о размерах тех наносов, которые должны быть выделены из воды.

Если в системе производственного водоснабжения промышленного предприятия, не имеющего устройств для очистки воды, на ковш возлагается задача задерживать из воды примеси, недопустимые по технологическим условиям, то расчетная величина гидравлической крупности устанавливается в зависимости от требований производства. Если указанная задача не ставится, то ковш должен задерживать из воды примеси, вредные для насосов.

Вопрос о влиянии различной крупности на работу насосов, на их истирание пока исследован недостаточно.

При проектировании гидростанций наибольшую допускаемую крупность примесей в воде, подводимой к турбинам, принимают равной примерно 0,25—0,40 *мм*[1]. Относить это к центробежным насосам неправильно. Иногда полагают, что опасными для насосов являются наносы с диаметром более 0,15—0,20 *мм*, однако, эти цифры надо считать пока ориентировочными.

Самый же расчет ковша как горизонтального осадочного бассейна производится по методам, излагаемым в разделе четвертом.

При определении длины ковша на всплывание шуги обозначим:

$l_в$ — длину пути в *м*, на котором должно произойти всплывание шуги;

$h_в$ — высоту в *м*, на которую должна всплыть шуга;

u — скорость поступательного движения воды в ковше в *м/сек*;

$v_ш$ — гидравлическая крупность шуги в *м/сек*.

Тогда $l_в$ ориентировочно, но практически с достаточной степенью точности определится из простого соотношения:

$$l_в = \frac{uh_в}{v_ш},$$

или при введении коэфициента запаса m:

$$l_в = \frac{muh_в}{v_ш}.$$

[1] Наблюдения за работой гидротурбин показали, что песчаные наносы крупнее 0,5—0,4 *мм* за один паводковый период могут истирать рабочие колеса настолько, что к. п. д. гидротурбин падает на 10—30%; при наличии в воде примесей крупностью до 10 *мм* истирание лопаток колеса Пельтона доходило до 6—7 *мм* за год, при отстаивании же воды и задержании из нее частиц крупнее 0,4 *мм* истирание уменьшалось в 5 раз до 1,3 *мм* в год.

Численные значения $v_ш$ должны быть, по нашему мнению, различны не только для разных рек, но и для одной и той же реки в разные периоды времени, так как зависят от характера шуги, а последний разнообразен. К тому же исследования для определения $v_ш$ произведены пока в весьма ограниченном числе и дают величины $v_ш$ в широких пределах, примерно от 0,003 до 0,1 *м/сек* и более.

Скорость u принимается в пределах 0,05—0,1 *м/сек*, но цифры эти пока лишь ориентировочны и требуют уточнения дальнейшими исследованиями.

Некоторая неопределенность имеет место и при установлении численного значения $h_в$, так как последнее должно приниматься с учетом слоя осадков и толщины льда.

Ввиду недостаточной изученности вопроса расчетов ковша как противошугового устройства представляется весьма целесообразным иметь в водоснабжениях промышленных предприятий сброс отработанной теплой воды в ковш в периоды шугохода. При этом важно рационально выбрать точки сброса теплой воды. На основании пока еще немногих исследований сброс теплой воды признается необходимым по крайней мере в двух точках — несколько выше входа в ковш и в непосредственной близости к нему.

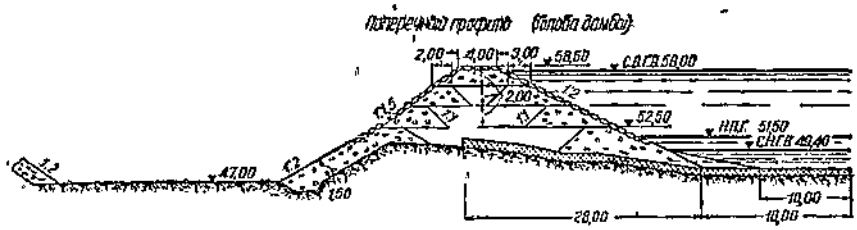


Рис. 375

В период, безопасный в отношении образования шуги, сброс должен производиться в другом месте, в достаточном удалении от ковша, так как иначе теплая вода может заноситься течением в ковш; в летнее время это будет вызывать в нем перегрев воды, недопустимый в водоснабжении.

Отмеченные неопределенности при расчете размеров ковша заставляют признать важным в каждом случае при проектировании ковша производить в гидравлических (гидротехнических) лабораториях исследования над моделями ковша в моделях речного потока, точно отвечающих всем местным условиям.

Эти исследования чрезвычайно важны для отыскания решений, создающих условия, при которых возможно уменьшение развития вихревых движений в самом ковше и при поступлении в него воды.

Дамбы ковшей. Для сокращения размеров вихревых областей ковшевым дамбам необходимо придавать плавные обтекаемые формы; сопряжения их с берегами должны быть также плавными.

Высота дамбы[1] определяется из условия, чтобы гребень ее возвышался над самым высоким горизонтом воды на 0,5—0,75 *м*.

Ширина дамбы принимается обычно равной 3,0—4,0 *м*.

Откосы дамбы и их крепление устраиваются в соответствии со скоростями движения воды в реке и ледовыми условиями по соображениям, которые излагаются в курсе гидротехнических сооружений. Особо важное значение имеет крепление головы дамбы, как находя-

[1] Если она не затапливается высокими водами (см. стр. 290).

щейся в более тяжелых условиях работы; иногда оказывается необходимым придавать конструкции головы характер ледореза.

На рис. 375 показана для примера дамба высотой 11,4 *м*. Дамба ограничена откосами: 1 : 2 со стороны реки и 1 : 1,5 со стороны ковшевого бассейна. Откосы — из каменных призм, причем речной откос на всем протяжении дамбы имеет в подошве фашинный тюфяк. В голове дамбы тюфяк пригружен дополнительно отсыпью, каменные призмы откосов значительно увеличены.

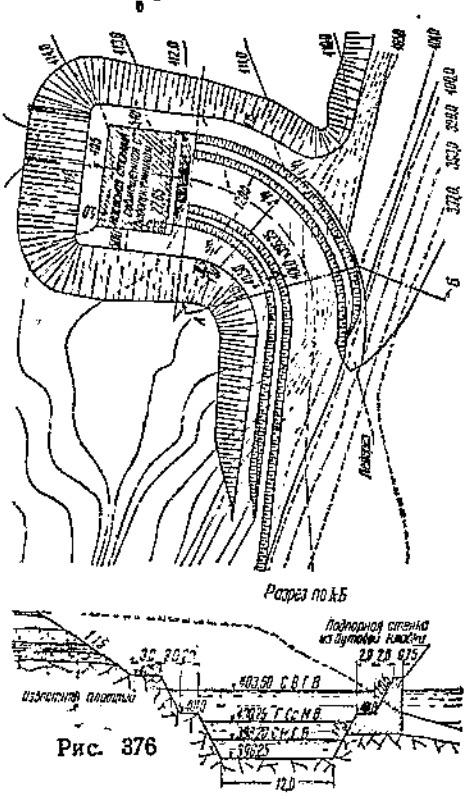


Рис. 376

В отдельных случаях при наличии соответствующих материалов дамбы устраиваются в виде подпорных стенок.

На рис. 376 приведен пример подобной дамбы ковша, почти целиком заложенного в скале; дамба — в виде подпорной стенки, имеющей в голове массивный ледорез. До горизонта меженних вод подпорная стенка — из бетона (с применением метода подводного бетонирования), а выше — из бутовой кладки на цементном растворе.

Интересна, особенно с точки зрения борьбы с шугой, проблема дамб, фильтрующих речную воду в ковш. Возможно, однако, ожидать, что длина дамб при этом будет значительной.

Очистка ковшей. Очистка ковшей от выпавших там осадков должна производиться достаточно регулярно по соображениям санитарным и техническим; осадки могут 1) загнивать и ухудшать качество воды, 2) уплотняться и вследствие этого затруднять работы по их удалению, 3) уменьшать полезную глубину и емкость ковша.

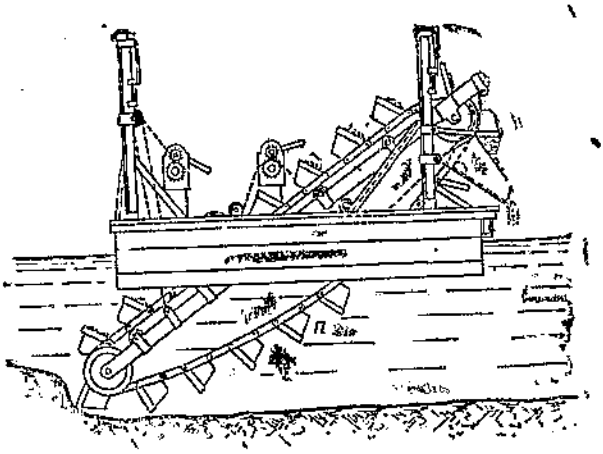


Рис. 377

Для удаления осадков возможно использование различных средств. Здесь могут применяться землесосы, землечерпалки.

Неплохие результаты может давать небольшая землечерпалка моторизованная или даже ручного действия. Она может монтироваться на понтоне (рис. 377). В кормовой части последнего на портальной стойке укрепляется шарнирно конец рамы с черпаком емкостью порядка 10—20 *л*. Другой конец рамы подвешивается ко второй портальной стойке на цепях; это дает возможность изменять глубину черпания осадков;

некоторые из черпаков полезно снабжать резцами, которые могут облегчать работу по захвату слежавшихся осадков. Маневрирование землечерпалкой производится при помощи якорей с тросами. Часовая производительность подобных землечерпалок — порядка 5,0 $м^3$, глубина же черпания — около 1,5—2,0 *м*. Сброс выбранных осадков делается при помощи желобов в лодку или другой понтон.

Возможно применение и песковых насосов и грязевых эжекторов больших моделей с монтажем необходимых устройств на лодках или плотах.

Затопляемые ковши. Ковш представляет собой дорогое сооружение. Стоимость его может быть очень большой при тяжелых условиях ледохода, когда требуется сильное крепление головной части дамбы с устройством массивного ледореза. Стоимость ковша может быть также велика при больших колебаниях горизонтов воды реки, когда высота дамбы требуется значительной. Стоимость ковша может существенно уменьшаться, если он делается затопляемым (рис. 378) паводковыми водами, когда дамба требуется меньшей высоты. Такой ковш в периоды затопления перестает быть отстойником и может применяться лишь в тех случаях, когда от него роли отстойника и не требуется и когда он служит лишь как устройство для защиты водоприемных сооружений от глубинного льда.

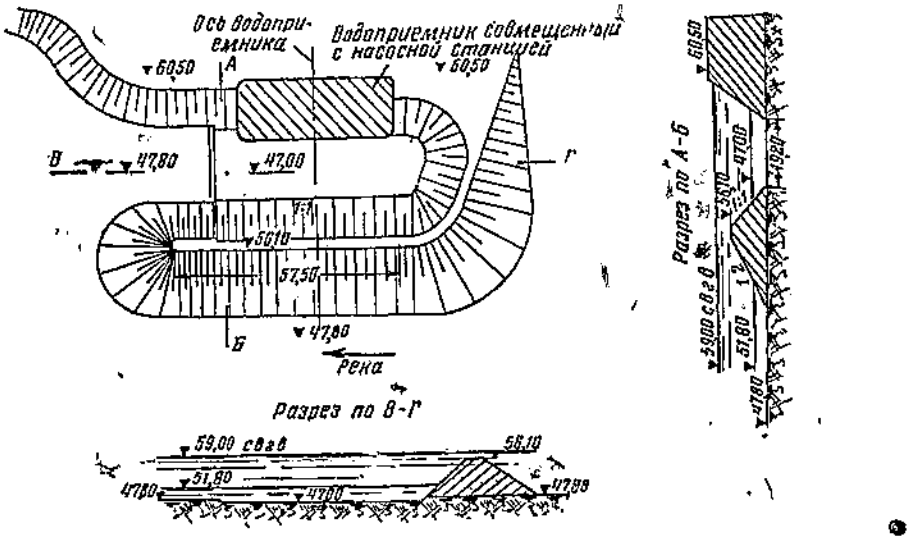


Рис. 378

Интересной разновидностью затопляемого ковша является врезанный в берег закрытый ковш. Последний помимо меньшей стоимости по сравнению с открытым незатопляемым ковшом имеет и то преимущество, что дает лучшую защиту от глубинного льда, так как перекрытие его предупреждает переохлаждение воды. Перекрытие, кроме того, маскирует ковш, что весьма важно с точки зрения МПВО.

Первый в СССР закрытый ковш (рис. 379, *а, б*), построенный на р. Днепр, имеет в плане форму врезанного в берег широкого короткого канала с тупым углом отвода воды из реки, что сделано было в соответствии с местными условиями в целях обеспечить меньший занос шуги, которая представляет здесь большую опасность для бесперебойной работы водозаборных сооружений.

Перекрытие ковша — железобетонное ребристое на колоннах; средняя часть перекрытия на ширине около 6,0 *м* сделана разборной для возможности производить чистку ковша землесосами; вместо по-

следних в случае необходимости могут быть применены насосные агрегаты, смонтированные на лодках; большое возвышение перекрытия над горизонтом меженних вод позволяет это делать.

Применение такого ковша позволило, по данным проф. Н. Г. Малишевского, предложившего такое решение, значительно удешевить устройство водозабора по сравнению с обычным ковшом, образованным дамбой.

Сооружения для приема воды из ковшей. Что касается собственно водозаборных сооружений, то они устраиваются в основном или берегового типа или с самотечными, сифонными линиями.

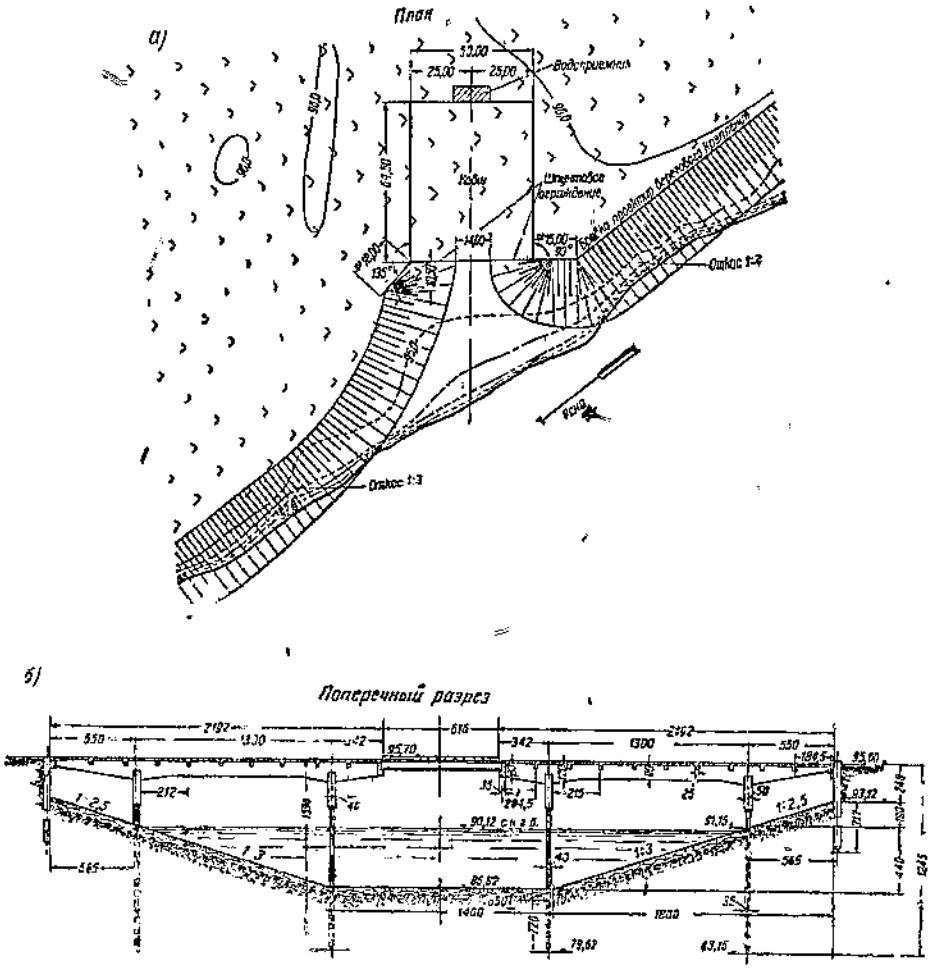


Рис. 379

Ввиду того что сам ковш способствует приему воды, благоприятному с точки зрения глубинного льда, наносов и пр., береговые водоприемники или оголовки могут получать некоторые упрощения в соответствии с местными условиями.

На рис. 380 показан для примера водозабор в ковше, дамба которого была приведена ранее на рис. 376.

Передняя стенка водоприемника сделана наклонной для удобства очистки грубых съемных решеток, которыми оборудованы входные окна, размещенные в нижней части стенки. Местные условия по-

зволили осуществить подвод воды к насосам каналами в бетонном основании станции, которые переходят затем в короткие металлические трубы.

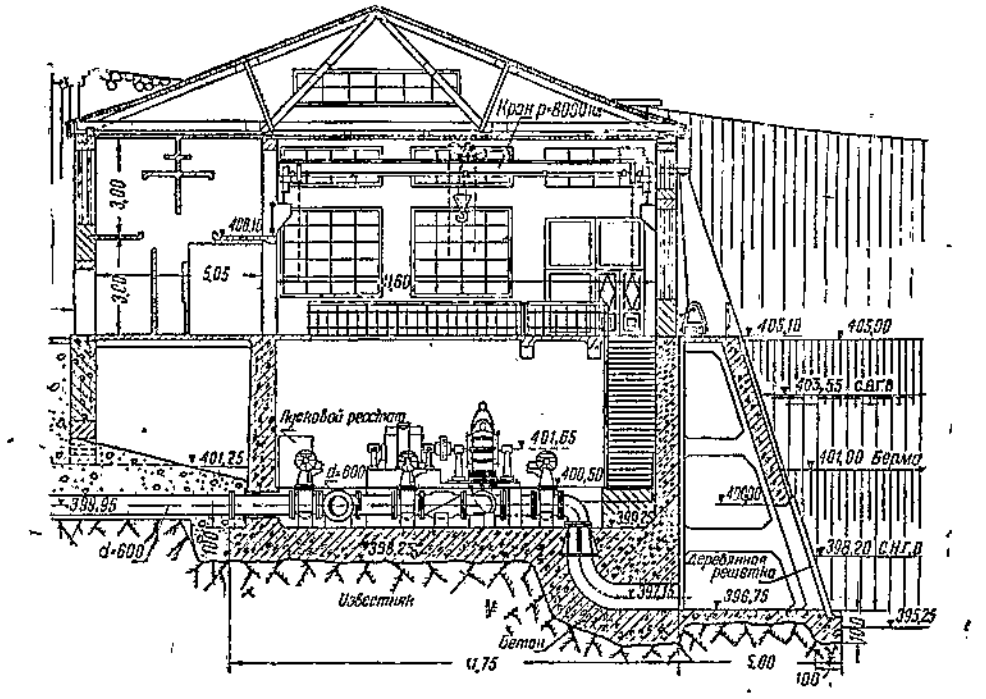


Рис. 380

§ 72. Водозаборные сооружения с водоподъемными плотинами

К таким сооружениям приходится прибегать в тех случаях, когда для рационального приема воды глубина реки недостаточна и когда другие устройства для ее увеличения (полузапруды, прорези) очень дороги или вовсе неприменимы по местным условиям.

К возведению водоподъемных плотин приходится иногда прибегать и в тех случаях, когда для целей водоснабжения необходимо отбирать из реки значительную часть ее расхода, например, более 30—50%.

При устройстве водоподъемных плотин возможны два основных решения по компоновке узла сооружений; при первом из них — плотина и водоприемник располагаются отдельно и представляют собой два самостоятельных сооружения; при втором — водоприемник совмещается с плотиной, образуя одно сооружение.

К преимуществам раздельной компоновки узла относят: а) независимость работ по возведению плотины и водозабора, более простое деление работ на очереди: бывают случаи, когда устройство плотины требуется лишь при последующих очередях осуществления водоснабжения вообще и водозаборных сооружений в частности; б) возможность сохранения водозаборных сооружений при авариях плотин; в) целесообразность с точки зрения МПВО.

Как недостаток раздельной компоновки приходится отметить то обстоятельство, что неизбежное отложение наносов может отрицательно отражаться на работе водозабора; если последний будет к тому же отнесен от плотины на большое расстояние, то не может быть осуществлен промыв отложившихся у водозабора наносов попусками воды через плотину.

К достоинствам совмещенной компоновки относят: а) компактность узла сооружений; б) более благоприятные условия приема воды; в) возможность промыва водоприемных устройств.

Недостатки совмещенной компоновки: а) разрушение водоприемных устройств, а то и всего водозабора в целом при аварии плотины; б) нецелесообразность по условиям МПВО.

Что касается типов водоподъемных плотин[1], устраиваемых для водозаборов, то здесь находят применение как плотины с затворами, так и водосливные. Первые имеют тот недостаток, что являются сра-

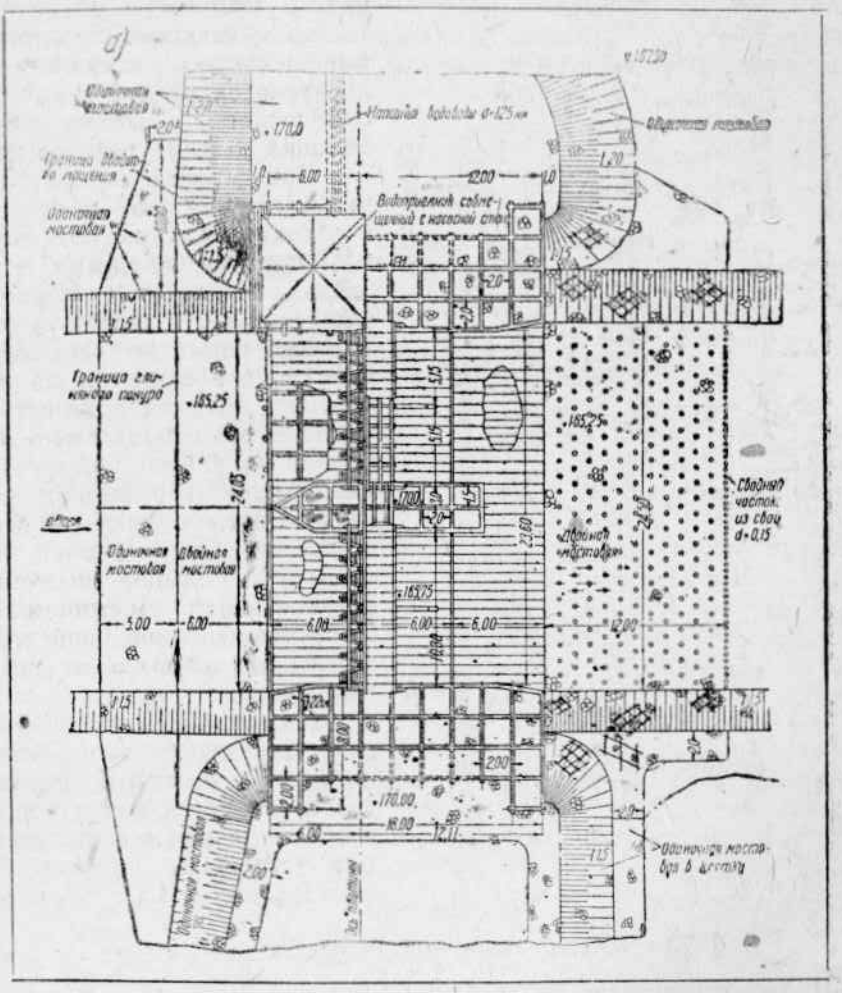


Рис. 381а

внительно сложными в эксплоатационном отношении; в суровые зимние периоды правильная работа их может нарушаться тяжелыми ледовыми явлениями, что требует принятия специальных мер борьбы с ними; на реках, отличающихся быстрым наступлением паводков, затворы требуются автоматически действующих конструкций. Но таким плотинам присущи немалые достоинства: 1) они не вызывают сколько-нибудь большого отложения наносов в верхних бьефах, что имеет не-

[1] Самое устройство плотин излагается в курсе гидротехнических сооружений.

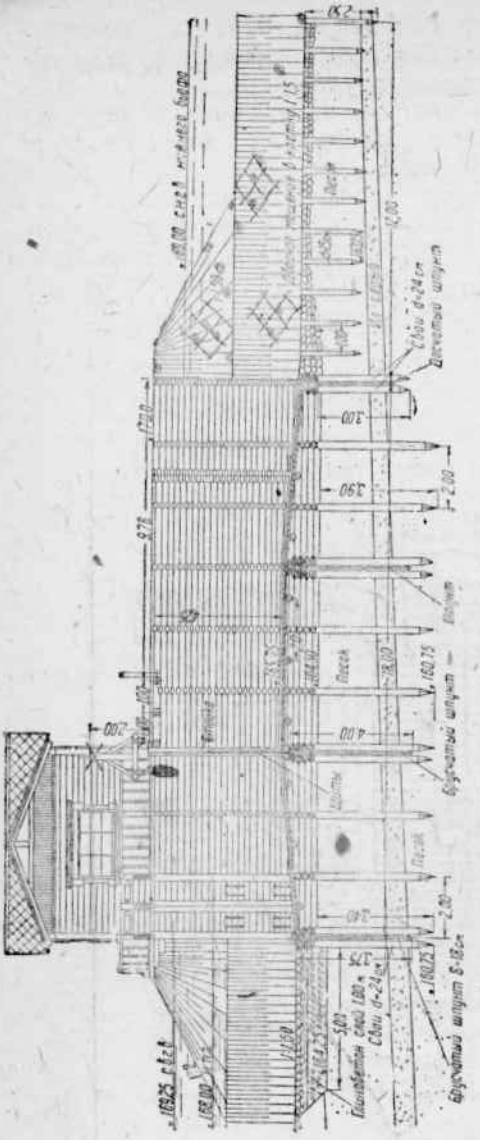


Рис. 381б

малое значение для условий приема воды; к тому же имеется возможность путем регулирования пропусков воды через отдельные пролеты плотин производить промыв отложившихся наносов в нижние бьефы; 2) они не вызывают сколько-нибудь большого стеснения живого сечения реки при открытых затворах, а благодаря этому значительно уменьшается подтопление вышележащей местности при пропусках паводков и устраняется опасность существенного изменения режима речного потока.

Водосливные плотины, будучи более простыми в отношении эксплоатации, страдают, однако, недостатками, важными с точки зрения интересов водоснабжения: они могут вызывать значительное занесение верхних бьефов, если возводятся на реках, несущих большие количества наносов, а это отрицательно сказывается на работе водозаборов[1]. Такие плотины нерациональны и с точки зрения судоходства и лесосплава. Они, наконец, могут вызывать большое подтопление вышележащей местности при пропуске паводков, особенно при увеличении отметки подпорного горизонта.

На рис. 381а и 381 б показана деревянная водоподъемная плотина, с ряжевым устоем которой совмещен водозабор — насосная станция и водоприемник; для устройства последнего использована одна из клеток устоя.

§ 73. Особые типы водозаборных сооружений

Инфильтрационные водозаборы. Если толща речного берега сложена песчаными или песчано-гравелистыми пластами, то последними можно пользоваться для фильтрования через них забираемой речной воды. С этой целью устраивают (рис. 382) колодцы *А* или горизонтальный водосбор в расстоянии порядка 25—75 *м* от уреза меженних вод; при откачке воды насосами *Н* из колодцев или горизонтального водосбора в них протекает профильтрованная речная вода; при сильной откачке (значительной депрессии) взвесь речной воды засасывается глубоко в толщу берега и закупоривает ее поры. И только при слабой откачке инфильтрация получается медленной,

[1] Влияние заиления стремятся нередко уменьшить устройством специальных промывных шлюзов, однако, действие последних распространяется на ограниченную длину, в связи с чем забор воды приходится располагать вблизи таких шлюзов.

взвешенные вещества отлагаются лишь по руслу реки и периодически при паводках удаляются, смываясь быстрым течением, так что фильтрующая способность береговой толщи может сохраняться в течение продолжительного времени.

Иначе говоря, для сохранения в течение многих лет фильтрующей способности береговой толщи скорость $v_п$ поступления речной воды в нее должна быть очень малой.

Численное значение этой скорости следовало бы выбирать по нашим исследованиям в пределах 0,02—0,04 *мм/сек* в зависимости от степени мутности речной воды и от скорости ее движения; чем больше скорость воды в реке, тем больше $v_п$, и обратно.

По проектировании инфильтрационных водозаборов следует иметь в виду, что в них может поступать подземная вода большой жесткости. Это должно быть проверено при проведении изысканий.

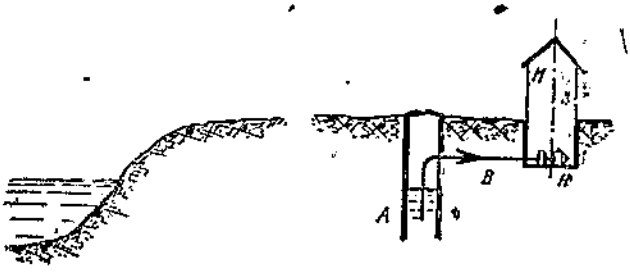


Рис. 382

Рис. 383

Но вообще инфильтрационные водозаборы заслуживают большого внимания, так как они дают воду, по своим качествам приближающуюся к искусственной подземной воде, и весьма целесообразны с точки зрения МПВО.

Поучительный пример получения инфильтрационной воды дают водосборы одного из крымских городов. Для захвата воды из гравелистого слоя мощностью около 3 *м*, подстилаемого синей глиной и прикрытого сверху двухметровым наносным грунтом, водосборы уложены были по обоим берегам реки (рис. 383); водосбор правого берега длиной 120 *м* заканчивается сборным колодцем *1*; левобережный водосбор длиной 145 *м* заканчивается колодцем *3*. Заложены водосборы с небольшим уклоном к колодцам ниже подошвы галечника на 1,0—1,25 *м* в траншее, которая была вырыта в синей глине.

Водосборы устроены из бетонных труб диаметром 800 *мм*, набивных с фальцами; в стенках труб толщиной 90 *мм* имеются круглые отверстия диаметром 60 *мм* на взаимных расстояниях 150 *мм*; трубы уложены на постели из чистого крупного гравия с толщиной слоя 0,5 *м* и обсыпаны кругом слоем такого же гравия (толщиной 0,65 *м*), далее по высоте всего водоносного пласта сделана засыпка мелким гравием.

Та часть левобережного водосбора, которая проходит под руслом реки, уложена из сплошных бетонных труб, причем трубы засыпаны чистым песком, сверх которого уложен слой глины, чтобы максимально уменьшить поступление плохо профильтровавшейся речной воды. На водосборах — смотровые колодцы из сплошных бетонных труб диаметром 800 *мм* в верхних своих частях; нижние же части колодцев, проходящие в галечнике, — из дырчатых труб.

Сборные колодцы (№ 1 и 3) — диаметром около 5 *м*, выложены из бетонных камней с прямоугольными отверстиями (50 × 125 *мм*, на расстоянии 180 *мм* друг от друга).

Дно колодцев на $^2/_3$ *м* ниже подошвы водосборов и засыпано слоем мелкого гравия в 0,2 *м*. Колодцы перекрыты купольными железобетонными сводами, имеющими бетонные вентиляционные колпаки (диаметром около 800 *мм*, с двойными стенками).

Доступ к сборным колодцам — через бетонный туннель (2×1 *м*), для входа в который сделана входная камера (при насосной станции). Все работы по устройству водосборов производились при непрерывном водоотливе, центробежными насосами $q = 175$ *м³/час*, приводимыми в действие от 13-сильного локомобиля. При устройстве левобережного водосбора потребовалась установка дополнительного центробежного насоса $q = 63$ *м³/час*. Количество воды было как минимум 3 750 *м³/сутки* для засушливых лет.

Описанные водосборы были затем расширены, причем расположение новых водосборов было принято нормальным течению реки. Кроме того, поперек реки устроена донная плотина.

Получение пойменных вод. Во многих, в частности, в горных местностях часто встречаются речные долины, которые заполнены принесенным водой с высоких точек горным мусором, в частности, галькой, имеющей примеси песка и глины. В этот галечник проваливаются атмосферные осадки, заполняют его и образуют невидимое для человеческого глаза подземное течение, излишки же воды выступают наружу и дают в видимом речном русле открытый поверхностный поток. Вследствие этого подземный, двигающийся в гальке поток называют нередко пойменной, подрусловой водой. Последняя отличается: 1) большой прозрачностью, которая сохраняется даже после сильных ливней, 2) меньшей, нежели поверхностный поток, температурой, 3) удовлетворительным химическим составом, бактериологические же ее качества зависят, понятно, от внешних загрязнений, могущих попадать в гальку вместе с атмосферными осадками. В районах, лишенных жилищ, пастбищ, проезжих дорог и т. п., подрусловая вода при наличии соответственной зоны санитарной охраны может быть безупречна в бактериальном отношении, в противном случае — наоборот. Благодаря присущим подрусловой воде достоинствам ею часто пользуются для целей водоснабжения, устраивают захват ее при помощи горизонтальных или вертикальных (трубчатые и шахтные колодцы) водосборов. Мало того, если принять во внимание: 1) что видимые русла таких рек непостоянны в плане, а перебрасываются по долинам то в одну, то в другую сторону, и поэтому чрезвычайно трудно устраивать рациональный прием видимой поверхностной воды, 2) что толщина слоя протекающей видимой воды часто бывает незначительной и 3) что расход подрусловой воды более постоянен, чем расход видимого потока, — во многих случаях пользование подрусловым течением целесообразнее и с технической точки зрения.

Что касается расположения водосборных сооружений в плане, то наиболее целесообразным будет устройство их поперек долины, ибо подрусловое течение воды имеет почти то же направление, что и надземное русловое. При таком поперечном расположении водосборов удается иногда захватывать почти весь подрусловый поток, однако, оно имеет тот недостаток, что при реках с большим подъемом уровня русловой воды при паводках обеспечение возможности доступа человека к водосбору в это время может вызывать значительное удорожание устройства. В тех случаях, когда для целей водоснабжения достаточно бывает захватывать лишь небольшую часть мощного подруслового потока, водосборы устраивают вдоль течения, располагая их на берегах рек.

Выбор типа водосборов в каждом отдельном случае зависит от характера долины реки вообще, от скорости стока воды под руслом, от профиля речных берегов, от геологического строения долины, от

характера самого галечника и, в частности, от количественного содержания в нем песчаных и глинистых примесей, т. е. так называемого кольматажа гальки. Последние обладают свойством цементировать галечник, закупоривая промежутки между его частицами, и это обстоятельство приходится также иметь в виду при проектировании захватных сооружений. Правда, с течением времени в районе устроенных водосборов, благодаря усиленной скорости движения к ним пойменной воды, происходит промывка галечника и вынос из него частиц песка, но этот фактор времени чрезвычайно трудно учитывать заранее. При захвате воды из пойм большой ширины и значительной толщи целесообразнее вертикальные водосборы. Наоборот, при получении воды из речных пойм малой ширины и малой толщи — могут быть рациональны горизонтальные водосборы.

Водозаборы горных рек. Устройство водозаборов из горных рек определяется в общем случае следующими основными условиями:

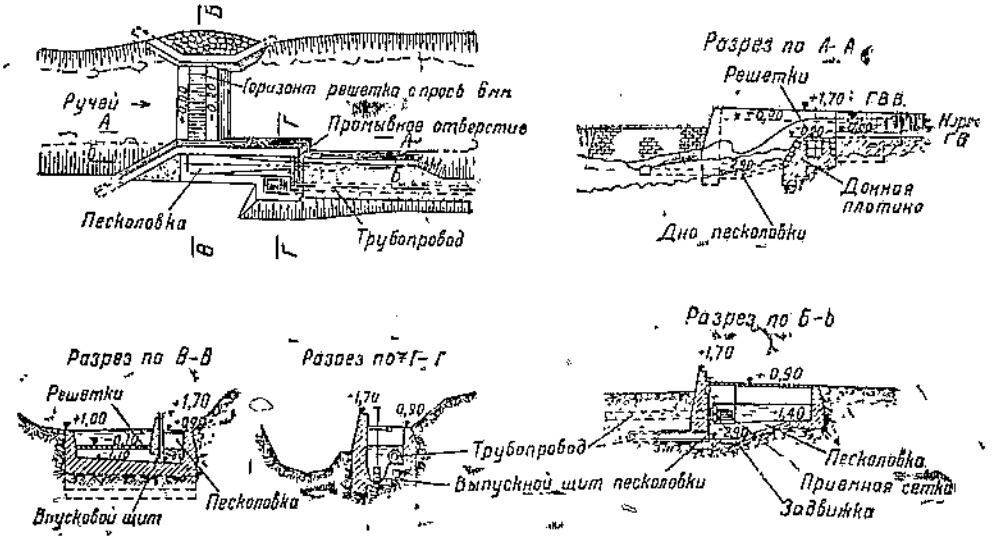


Рис. 384

1) течение рек по выходе их из гор идет по широким поймам с галечниковыми отложениями, с большим числом неглубоких рукавов, весьма неустойчивых; 2) колебания наименьших и наибольших расходов воды значительны; в межень расходы могут быть очень малыми, паводковые же расходы могут превышать меженние во много раз (в 1 000 раз и более); паводки могут быть продолжительны; нарастание их — быстрое; 3) большие продольные уклоны рек, весьма неравномерные; 4) в межень — сравнительно небольшое содержание механических примесей в воде и незначительное движение донных наносов; наоборот, при высоких и средних горизонтах — громадное количество примесей и донные наносы крупных размеров; на некоторых реках периодические селевые потоки с выносом значительных количеств грязи и камней, причем размеры последних могут быть громадны (например до 2,0 *м*); 5) отсутствие сплошного ледяного покрова, обильное продуцирование глубинного льда, тяжелые шуговые явления.

На рис. 384 показан водозабор так называемого тирольского типа; он представляет собой по существу донную плотину в виде бетонного канала, заложенного поперек русла реки, заподлицо с ним и перекрытого решеткой; поступая через отверстия последней внутрь плотины — канала, речная вода идет отсюда к отстойнику, устроен-

ному в толще берега. Решетка кладется с уклоном[1] в сторону течения, делается из полосового железа с прозорами 15—10 *мм* и даже менее или из листового железа с круглыми отверстиями диаметром порядка 12 *мм*; во избежание защемления гальки в прозорах отверстия последних расширяются книзу[2].

Такой водозабор представляет собой сравнительно простое устройство, отличающееся хорошей сопротивляемостью, не создающее препятствий потоку воды и движению наносов вниз по течению, применяемое иногда для расходов воды примерно до 5 *м³/сек*. Как недостаток водозабора отметим отсутствие секционирования канала; при необходимости очистки последнего весь водозабор должен быть выключаем из работы.

Представляет интерес проект тирольского водозабора, выполненный для реки с шириной меженного русла 9 *м*, при глубине слоя воды 0,3 *м*, с превышением паводкового горизонта над меженным в 2,0 *м* (при расходе 80 *м³/сек*). Водозабор рассчитан на получение воды в количестве 1,00 *м³/сек*. Для задержания наносов с фракциями более 0,3 *мм* предусмотрен отстойник, расположенный на правом берегу реки, непосредственно примыкающий к донной плотине. Последняя имеет отверстие 12,8 *м* (между устоями), ширину 3,4 *м* и заглубление основания 1,8 *м* от дна реки; канал внутри плотины шириной 1,4 *м* с уклоном дна 0,035. Решетка из листового железа толщиной 10 *мм* в виде отдельных панелей (по нивеллерам № 5) с круглыми отверстиями диаметром 12 *мм*; уклон решетки в сторону нижнего бьефа 0,1.

Отстойник, как и плотина, — из бутовой кладки на цементном растворе; голова отстойника является правобережным устоем водозабора; отстойник сообщается с каналом плотины отверстием, которое может закрываться деревянным щитом с винтовым подъемником; переход от канала к отстойнику закруглен; размеры отстойника: длина 11.8 *м*, ширина 3,6 *м*, уклон дна 0,04 *м*, для смыва наносов — промывное отверстие диаметром 0,8 *м*, располагаемое в самой пониженной концевой части отстойника и закрываемое деревянным щитом с винтовым подъемником; в это отверстие заделано устье отводного трубопровода из бетонных колец.

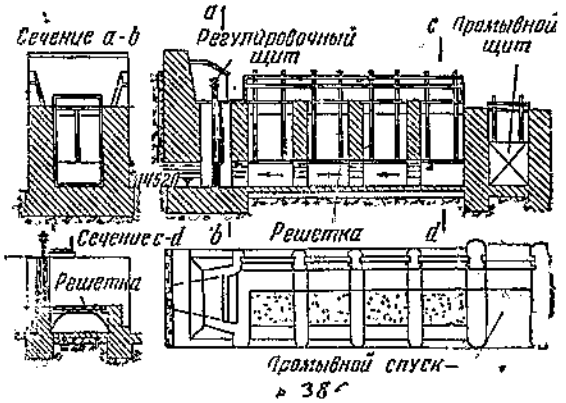


Рис. 385

При максимальном насыщении воды наносами с фракциями более 0,3 *мм* при круглосуточном заборе воды в количестве 1,0 *м³/сек* в отстойнике площадью 42 *м²* образуется слой осадков толщиной около 1,0 *м*; это заставляет вести промывку отстойника в период паводков дважды в течение суток.

Верхние осветленные слои воды сливаются через порог в приемный колодец (2,5 × 2,5 *м*), откуда уже начинается водовод.

[1] С точки зрения лучшего пропуска механических примесей через решетку уклон ее желателен больший; однако, придание решетке сильно увеличенного уклона несколько ухудшает конструкцию водозабора; кроме того, возможен проскок струи воды над сильно наклоненной решеткой. Поэтому уклон решетки в сторону нижнего бьефа обычно принимают в пределах примерно $^1/_8$—$^1/_{10}$.

[2] Для предупреждения обмерзания решеток зимой за границей покрывают их хворостом; на последнем образуется ледяная корка, защищающая решетку, ток же воды идет между ветвями хвороста.

На рис. 385 показан другой пример водозабора; здесь при низком горизонте воды устанавливают щиты между бычками, которыми водозабор разделяется на отдельные пролеты; кроме того, предусматривается промывной пролет с промывным щитом.

В несколько измененном виде тирольский водозабор применен для приема воды в количестве 1,0 *м³/сек* из р. Тала-Чай (Кавказ). Здесь в русле реки (рис. 386, 387) заложен бетонный массив, имеющий в своем теле два канала — нижний, заполненный камнями, и верхний с двумя бетонными желобами. Верхний канал перекрыт двойной решеткой: нижняя устроена из рельсов, уложенных головками вниз, верхняя — из полосового железа; эта решетка может передвигаться по нижней с уменьшением ее просветов; для обеспечения смыва с решетки крупных примесей русло реки в месте водозабора сильно сжато струенаправляющими дамбами, так что скорости движения воды над водоприемником гораздо больше, чем выше его по течению реки. С верховой стороны водоприемника устроена каменная наброска, через которую может поступать фильтрационная вода — подземная и поверхностная; для этого в передней стенке водоприемника устроены окна.

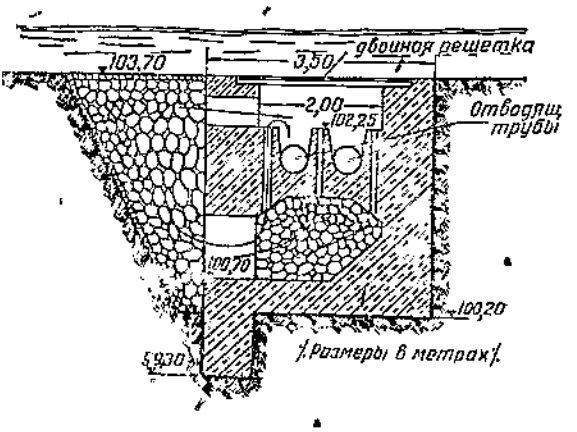


Рис. 386

От желобов верхнего канала идут трубы диаметром 500 *мм* к отстойнику. Подобного типа водозабор применен при получении воды для технических целей из р. Туапсинки (близ г. Туапсе); ввиду сравнительной чистоты воды здесь нет отстойника, хотя таковой обычно является непременным элементом водозабора тирольского типа.

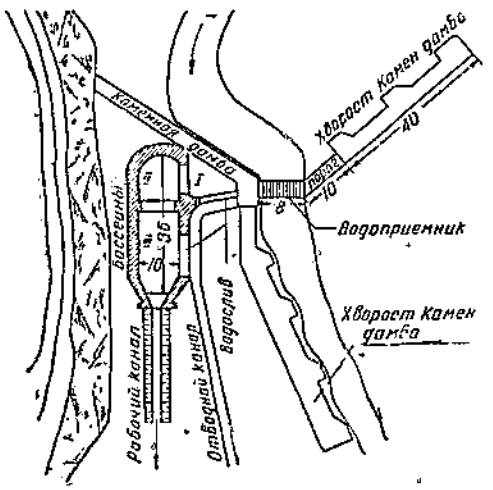


Рис. 387

Что касается применения водозаборов этого типа для получения воды из горных рек, подверженных селям, то мнения специалистов по этому вопросу — различны, одни считают этот тип непригодным, другие полагают возможным применение его для небольших расходов воды.

Эта неопределенность объясняется недостаточной пока изученностью вопроса; практика вместе с тем дает примеры разрушения селевыми потоками водозаборов, устроенных без возведения специальных сооружений (оградительных и струенаправляющих дамб, наносохранилищ и пр.). Последние оказываются очень дорогими, если проектируются столь надежными, чтобы противостоять динамическому действию селей, и могут быть в общем случае практически целесообразны, если позволят решать не только задачи по водозаборным устройствам

водоснабжений, но одновременно и задачи борьбы с селевыми потоками в целом для всего комплекса интересов народного хозяйства в данном районе.

Особенности устройства водозаборных сооружений в районах вечной мерзлоты. Реки здесь часто носят горный характер; в летнее время они обильны водой, текут с большими скоростями, отличаются значительными разливами, принимающими иногда форму наводнений; русла рек часто сложены песками и галечниками. Ввиду чрезвычайной неравномерности поверхностного стока к началу зимы реки сильно мелеют. Зимой малые реки обычно промерзают и за исключением отдельных, редко встречающихся мест прекращают свое русловое течение. Промерзают и их подрусловые потоки в песках и галечниках, особенно если мощность этих отложений — незначительна. Поэтому такие реки могут служить источниками водоснабжений временного характера — для теплых периодов года.

В больших реках мощность песчано-галечниковых отложений бывает иногда значительной; вечная мерзлота уходит здесь на глубины до 20 *м* и более; в этих случаях захват подрусловых вод вертикальными водосборами может давать хорошие решения. Подрусловые потоки питаются нередко выходящими в них глубокими подмерзлотными водами, и температура воды, получаемой водосборами, бывает порядка 2—0,2°, в зависимости от удаленности колодцев от берегов; при большом удалении она меньше, и наоборот.

Подмерзлотные воды выбиваются в виде ключей на дне рек; это сказывается на характере ледяного покрова; над выходами ключей лед тоньше по сравнению с другими местами; кроме того, могут образовываться во льду отверстия и даже целые полыньи, не замерзающие в течение всей зимы.

Получение поверхностной воды зимой даже из больших непромерзающих рек встречает во многих случаях немалые трудности: зимнее русло уходит от берегов на значительные расстояния, слой протекающей воды — мал; кроме того, имеет место интенсивное образование глубинного льда вследствие благоприятствующих метеорологических и других условий.

При устройстве оголовков самотечных линий приходится применять только дерево, а береговые колодцы обеспечивать очень тщательным утеплением путем обсыпки их стен землей, устройством двойных потолков с теплоизоляционными слоями торфа и пр.

Самые самотечные линии также необходимо предохранять от замерзания в них воды; здесь теплоизолирующие материалы оказываются уже недействительными; приходится прибегать иногда к прокладке специальных обогревательных труб для пропуска пара от насосной станции.

§ 74. Сооружения для забора воды из водохранилищ

Условия устройства сооружений для забора воды из водохранилищ

При устройстве водозаборных сооружений из водохранилищ необходимо учитывать ряд условий, из которых главными можно считать следующие:

Цветение воды. Под ним понимают массовое развитие планктонных организмов, которые вызывают механическое загрязнение воды, изменение ее окраски и появление запахов, иногда столь значительное, что вода становится непригодной для питья.

Основными факторами, обусловливающими цветение, являются: наличие в воде водохранилища большого количества питательных ве-

ществ, большая прозрачность воды, высокая температура воздуха, солнечная радиация и др. Поэтому цветение происходит, главным образом, в летнее солнечное время, причем мелкие участки водохранилища являются очагами, где планктон находит наиболее благоприятные для своего развития условия. Продолжительность цветения в большинстве случаев определяется днями, а иногда неделями. Цветение происходит преимущественно в поверхностных слоях воды, однако оно может быть и на глубине, особенно при ветрах; последние могут способствовать неравномерности горизонтального распределения планктона, в частности, концентрации его у водозаборных сооружений.

Для борьбы с цветением уже при самом сооружении водохранилища следует принимать соответствующие меры. Так, со всей заливаемой площади сводят кустарник, лес, с оставлением пней не выше примерно 20 *см*; признается, однако, желательной выкорчевка их. Желательным также считается снятие дернового покрова толщиной порядка 15 *см*; последнее представляет собой очень дорогую работу и обычно не осуществляется в достаточно полной мере.

Во всяком случае совершенно необходимо уничтожать имеющиеся на заливаемой площади навозохранилища, выгреба и тому подобные пункты накопления отбросов, места их нахождения тщательно дезинфицировать (хлорной известью).

Для уменьшения цветения имеют немалое значение также устранение мелких мест в водохранилище (путем их углубления) и установление строгих зон санитарной охраны.

Так как в глубоких слоях водохранилища планктона меньше, то желательно забирать воду именно из этих слоев, учитывая, однако, условия минерализации воды, о чем сказано ниже.

В процессе эксплоатации водохранилища приходится вести борьбу с цветением его воды. В этих целях применяют введение в водохранилище сернокислой меди ($CuSO_4$) — так называемое купоросование. Оно проводится 1—4 раза в течение теплого времени года. При этом дозы — очень малы, порядка 0,1—0,5 *мг/л*. Эти дозы только примерные. В каждом отдельном случае точная доза может быть назначена лишь на основании специальных исследований[1].

Для проведения купоросования прибегают иногда к довольно грубому приему: мешки с кусками сернокислой меди подвешивают к бортам лодки и проезжают на ней по водохранилищу зигзагообразным путем по возможности в ветреную погоду, пока все куски соли не растворятся; в США для этих целей применяют специально оборудованные моторные лодки.

Иногда производят распыление с лодок по зеркалу водохранилища измельченного в порошок медного купороса.

При большой площади водохранилища и наличии благоприятных обстоятельств проводят купоросование с самолетов; такой способ с успехом применялся у нас Донбассводтрестом.

Вместо купороса для борьбы с цветением пользуются иногда хлором с дозами его порядка 1,0—2,0 *мг/л* и даже несколько больше.

Зарастание водохранилищ водной растительностью. Главнейшими факторами, которые обусловливают развитие растительности, являются: малая глубина водохранилища, прозрачность воды, ее температура и относительная неподвижность. Развиваясь в водохранилище, растения затем отмирают, ложатся на дно и там накопляются. Водохранилище мелеет и может превратиться в болото. Борьбу с зарастанием водохранилища ведут путем его углубления или, что чаще, выкашиванием растительности в процессе эксплоатации при помощи кос и моторизованных машин. Скошенную растительность

[1] Последние особенно важны при ведении в водохранилище рыбного хозяйства.

не следует оставлять в водохранилище: ее необходимо тщательно удалять на берег; она может быть с успехом использована для изготовления корзин, канатов, покрытия временных построек, корма животных и пр. При выкашивании растительности следует иметь в виду то обстоятельство, что прибрежная полоса с развитой высшей растительностью и обитающими среди нее мелкими организмами может являться важной базой для рыб и особенно для рыбьей молоди. Это особенно следует учитывать при водохранилище, где ведется рыбное хозяйство.

Минерализация воды в водохранилище. Минерализация прудовой воды, в частности, нарастание ее жесткости, является следствием многих причин, среди которых большое значение имеют испарение и льдообразование. Оба эти процесса сопровождаются потерями воды из чаши водохранилища с сохранением солей их в остающейся массе воды. В течение небольшого числа лет (например 5—3 и даже еще менее) жесткость воды может увеличиваться в 3—7 раз и еще значительнее.

Жесткость придонных слоев становится при этом значительно выше сравнительно с жесткостью поверхностных слоев — в несколько раз.

Паводки достаточной величины, приносящие в водохранилище большие массы мягкой поверхностной воды, уменьшают возросшую жесткость прудовой воды, освежают ее. Однако, в целях борьбы с отмеченным явлением нарастания жесткости необходимы периодические выпуски воды из водохранилища через донные водоспуски в соответствующих количествах; последние устанавливаются на основании специальных обследований.

Заиление водохранилищ. Объем заиления устанавливается специальными расчетами по величине годового модуля твердого стока в бассейне реки, на которой устроено водохранилище. Заиление может усиливаться вследствие подмыва берегов, оползней, больших выносов из оврагов, промоин и т. д. Отметка заложения входных отверстий водоприемника определяется в зависимости от ожидаемого заиления. Необходима также борьба с быстрым заилением путем: а) облесения сильно размываемых площадей бассейна, б) укрепления размываемых берегов, оврагов и пр., в) систематического удаления из водохранилища наносов при помощи землечерпалок, рефулеров и т. п.

Глубинный лед может образоваться в большом водохранилище при неблагоприятных метеорологических условиях, в частности, при сильных холодных ветрах (например в водохранилищах СССР и Англии).

Особенность водозабора из вновь устраиваемого водохранилища заключается в том, что он может осуществляться «насухо» при возведении плотины.

Что касается конструкций водозаборных сооружений, то последние бывают 1) совмещенными с плотинами, с водоспусками или с водосбросами водохранилищ и 2) отдельно стоящими.

Водозаборы, совмещенные с плотинами, водоспусками, водосбросами

Водозаборы, совмещенные с плотинами, могут находить применение при устройстве последних каменными, бетонными, железобетонными. Прием воды делается тогда при помощи башни (рис. 388), которая осуществляется в теле плотины. В стенке последней на различных отметках — отверстия, в которые закладываются снабженные грубыми решетками раструбы; они присоединяются с постановкой задвижек к стоякам, которые монтируются в башне и, в свою очередь, соединяются с трубами, идущими к насосной станции в туннеле, устраиваемом в теле плотины. Расположение башни может быть различным согласно

рис. 389, где *Б* — приемная башня; *Е* — трубы, подводящие воду к насосам или к самотечным водоводам; *L* — спускные трубы; *S* — туннель в толще берега.

В качестве водоприемного устройства используется нередко башня донного водоспуска водохранилища (рис. 390). В стенке ее на разных отметках ряд окон, снабженных грубыми решетками; в окнах укрепляются раструбы, присоединяемые с постановкой задвижек к стоякам, которые устанавливаются внутри башни и затем соединяются с трубами, идущими в туннеле донного водоспуска к насосной станции, располагаемой обычно в нижнем бьефе. От башни к берегу устраивается служебный мостик. В башне по рис. 390, помещена труба диаметром

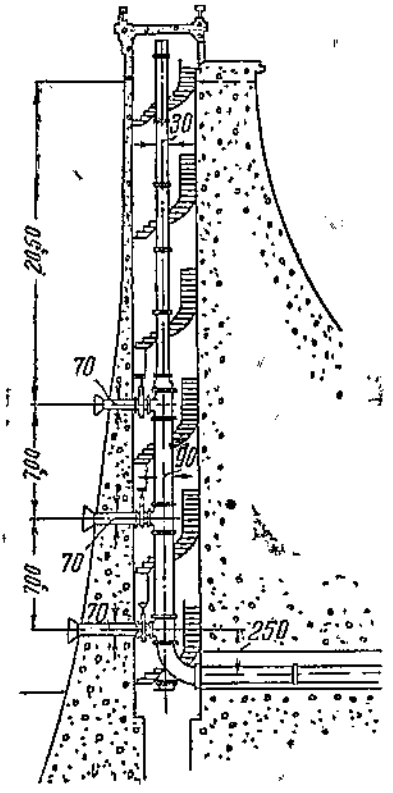
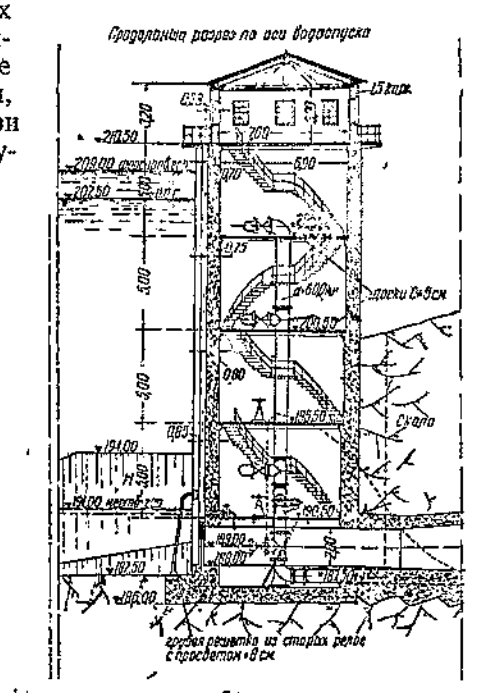


Рис. 388



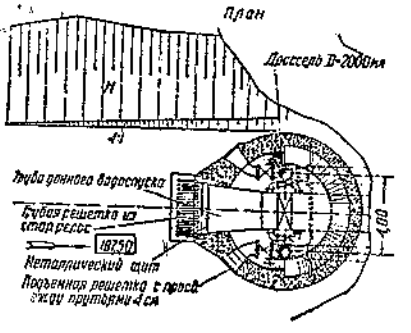


Рис. 390

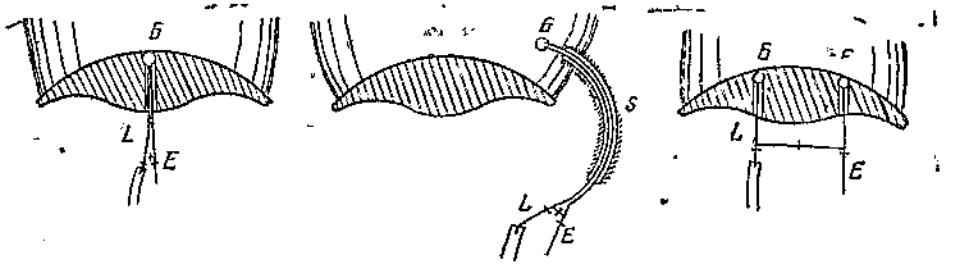


Рис. 389

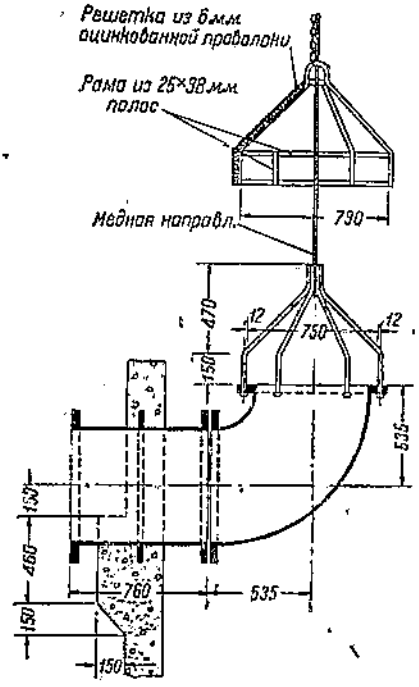


Рис. 391

2,0 *м* донного водоспуска; в качестве отводящего устройства последнего здесь использован туннель.

За границей концы приемных отверстий башни устраивают иногда в виде металлических колен (рис. 391) с обращенными вверх открытыми устьями; последние снабжаются съемными коническими решетками, которые могут подниматься и опускаться с помощью тросов с площадки башни водоспуска.

В тех случаях, когда при устройстве невысоких плотин донный водоспуск совмещается с устоем водосброса, с ним могут совмещаться и водозаборные сооружения; такая компоновка позволяет производить промывку водоприемника, а также и части водохранилища перед ним. На рис. 392а и 392б показан пример подобного устройства. Здесь водоспуск расположен между водосливной частью водосброса и водозабором. Вода из водохранилища поступает сначала в аванкамеру и далее в три водоприемные секции, куда опущены вертикальные всасывающие трубы трех насосов.

Иногда с башней донного водоспуска совмещается и насосная станция.

Отдельно стоящие водозаборы

Водозаборные сооружения, совмещаемые с плотинами, с водосбросами, с водоспусками, нецелесообразны с точки зрения МПВО. Кроме того, они могут оказываться в излишнем удалении от объектов водоснабжения и вызывать вследствие этого удлинение и удорожание водоводов. Наоборот, при отдельно стоящем водозаборе представляется возможным делать выбор места его устройства с надлежащим учетом расположения объекта водоснабжения. При этом необходимо относить водозабор от плотины на расстояние, определяемое условиями МПВО и выражающееся в сотнях метров. Не следует, однако, приближать водозабор к хвосту водохранилища, где оно подвержено большему заилению и имеет обычно малые глубины. Чем больше слой воды в водохранилище в месте водозабора, тем лучше с точки зрения качеств воды. Из сказанного не вытекает требование относить точку приема воды в глубь водохранилища на большое расстояние от берега; часто целесообразное решение может давать устройство прорези к берегу; это оправдывалось уже во многих случаях; необходимо только соблюдение того важного условия, чтобы при осуществлении прорезей не снимались в ложе водохранилищ водоупорные пласты, предупреждающие фильтрацию воды, например в трещиноватые породы и пр.

Если водохранилище служит для целей водоснабжения промпредприятия и в него происходит сброс теплой воды, то водозабор должен быть удален от точки этого сброса на достаточное расстояние. В больших водоснабжениях из больших водохранилищ приемники устраиваются иногда в виде башен по типу башен донных водоспусков. Такая башня обычно делается сухой, в отличие от мокрой, когда поступа-

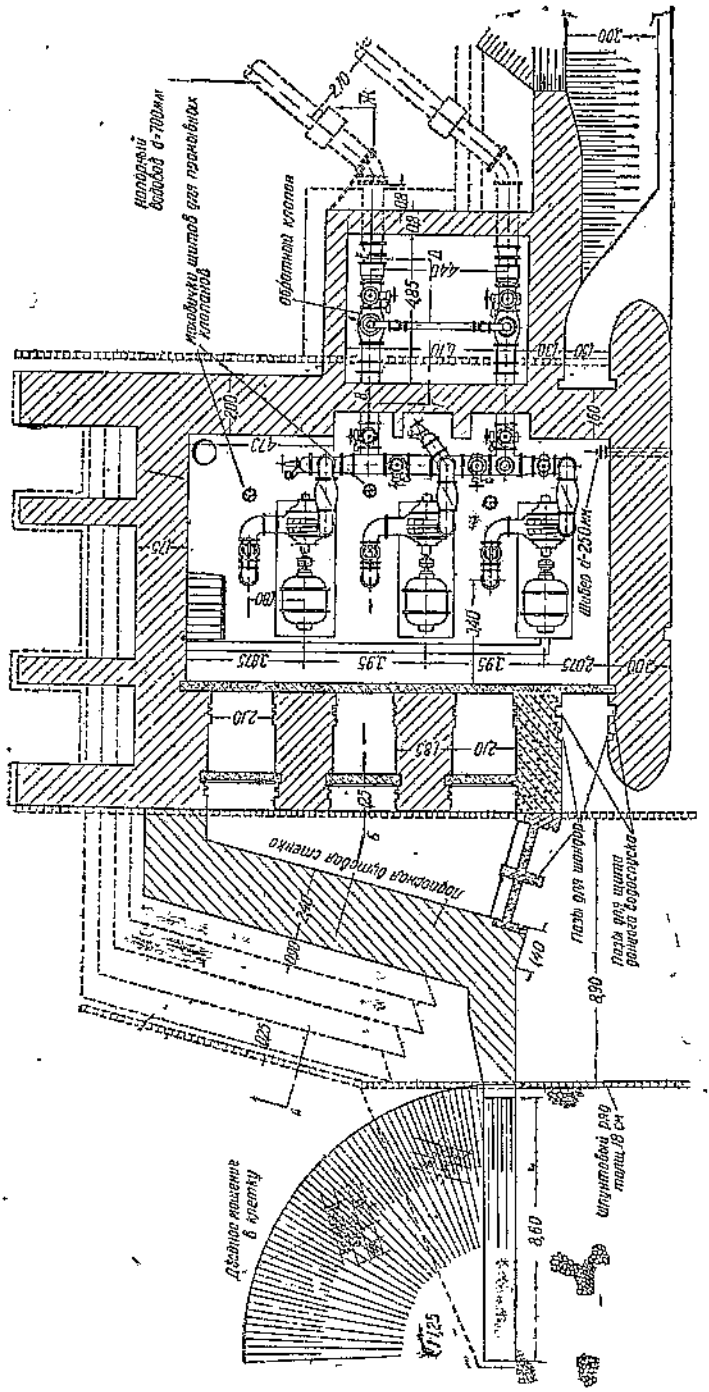

Напорный водовод d=700мм
Задвижки щитов для промывных клапанов
обратный клапан
d=250мм
Подводка фильтра сжатого воздуха
Паз для монтаж
Паз для щита фильтр. водоспуска
Двойное кольцо в клетку
Штукатурка раз толщ. 18 см

Рис. 392а

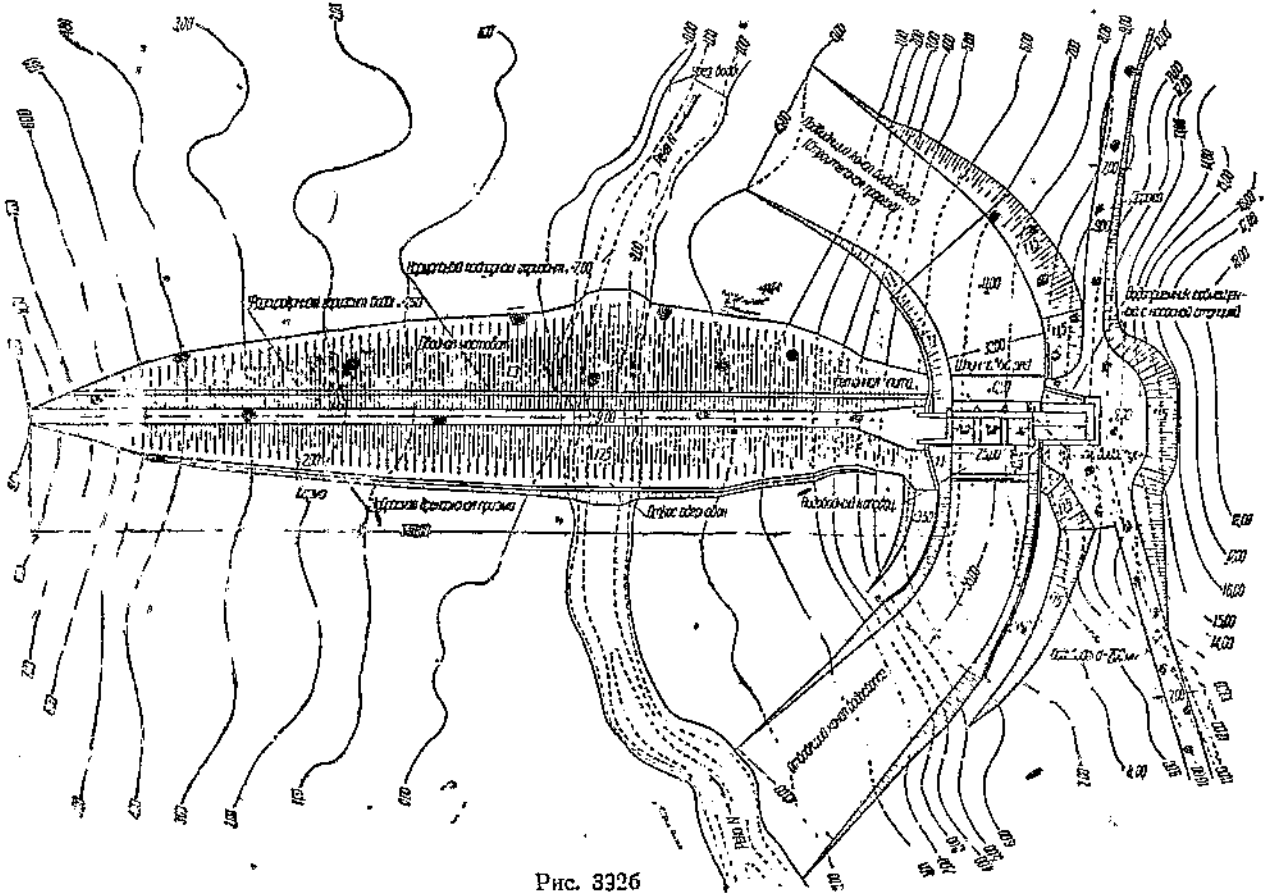


Рис. 3326

ющая через окна вода заполняет внутренность башни, а приемные стояки не делаются; в эксплоатационном отношении это решение хуже ввиду трудности надзора за башней.

При получении воды из водохранилищ отдельно стоящими водозаборами могут находить применение водоприемные устройства, которые разобраны ранее для равнинных рек, с тем отличием, что отсутствие воды в чаше водохранилища при постройке, меньшая опасность в отношении глубинного льда и др. позволяют вносить некоторые упрощения в конструкции водоприемников и способы производства работ по их возведению.

Что же касается различных качеств воды на разных глубинах водохранилища, то здесь может находить рациональное применение устройство водоприемных труб подвижными с шарнирными (сальниковыми) соединениями *а* (рис. 393); очистка сеток *п* на концах этих труб производится с подъемом их лебедкой *т*, которая устанавливается на берегу.

При устройстве отдельно стоящих водоприемников насосная станция в отдельных случаях располагается в нижнем бьефе — ниже плотины, подобно тому, как это делается при водозаборах, совмещаемых с башнями донных водоспусков; при этом прокладка труб, подводящих воду от водоприемника к станции, производится или в обход плотины или

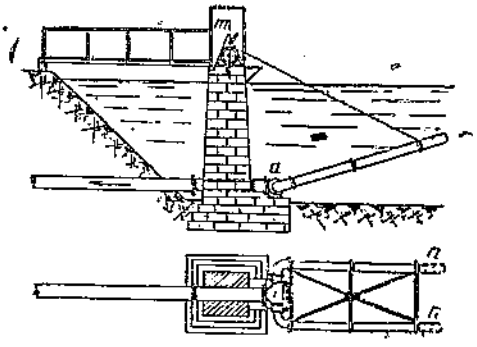


Рис. 393

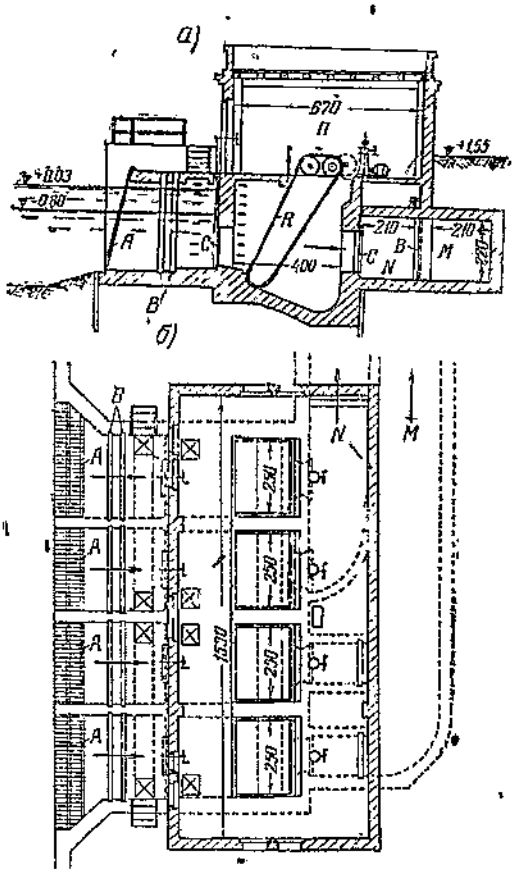


Рис. 394

под нею; в последнем случае трубы прокладываются в туннеле во избежание повреждений плотины при авариях с трубами; туннель имеет достаточные для прохода рабочих размеры и надежную защиту против фильтрации в него прудовой воды.

Особый тип водоприемников из водохранилищ небольшой глубины представляют водоприемники открытого берегового типа.

Вода из водохранилища (рис. 394) поступает в короткий канал, разделенный бычками на пролеты примерно по 2,0—4,0 *м* и имеющий порог небольшой высоты порядка 0,5 *м*, а иногда и грубые решетки в голове; далее вода проходит через сетки и по каналам (трубам) направляется к насосам или идет самотеком к потребителю.

В стенках бычков — пазы для шандоров. Иногда все бычки или некоторые из них устраиваются удлиненной формы в виде стенок, разделяющих канал на секции, могущие работать одна независимо от другой.

Иногда по фасадной линии бычков устраивается забральная стенка; если на нее опираются головные решетки, то она имеет наклон к горизонту в целях удобства чистки последних.

На рис. 395 показан четырехсекционный водоприемник. Для грубого процеживания воды предусмотрены подъемные решетки с просве-

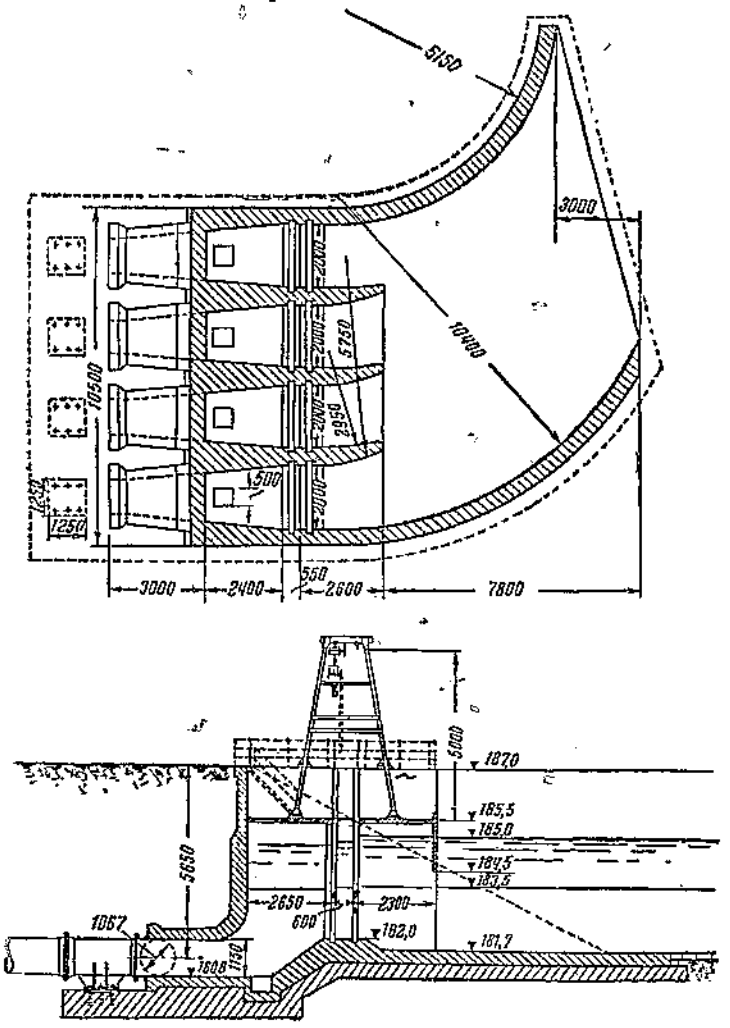


Рис. 395

тами около 15 *мм*, они могут перемещаться в пазах, устроенных в стенках, которые разделяют приемник на секции; в эти пазы могут закладываться шандоры. Для управления решетками и шандорами устроено перекрытие, на котором расположен подъемник; в заднюю стенку приемника заложены патрубки, к которым присоединяются трубы диаметром 1 000 *мм*, подводящие воду к насосам; сравнительно глубокое заложение этих труб (около 5,5 *м*) относится к недостаткам устройства приемника.

На рис. 396 показан водозабор для получения большого количества воды (порядка 25 $м^3/сек$). Вода по короткому расширяющемуся

каналу [1] поступает в подвальное помещение насосной станции, в которое опущены вертикальные всасывающие линии насосов. В голове канала шириной 15,0 *м* — бычки в виде железобетонных рам трапецоидальной формы, на которые опираются наклонные грубые решетки. Вращающиеся сетки — прямоточного типа, числом 11, помещены в подвале

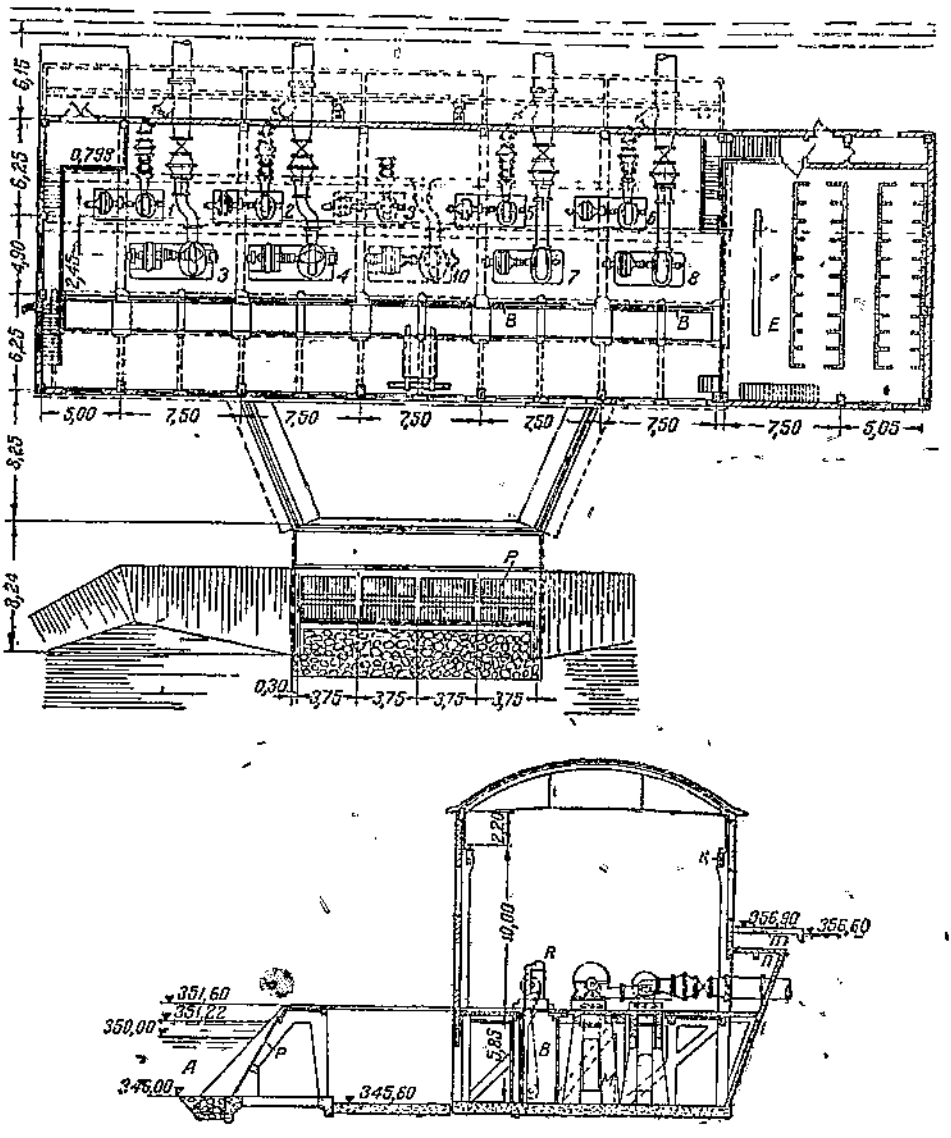


Рис. 356

станции, вдоль прудовой ее стороны и только верхними своими частями выступают над перекрытием подвала; на нем около сеток расположены их электромоторы и другие устройства.

Невозможность при сравнительно небольших глубинах воды развивать приемные отверстия по вертикали привела к особому типу открытого берегового водозабора — веерному. На рис. 397 показан пример такого водозабора с 16 приемными отверстиями; число по-

[1] Порога канал не имеет; к нему сделана в водохранилище прорезь из глубокой части последнего.

следних в разных устройствах бывает различным (и больше 16 и меньше). При сбросе к точке водоприема в зимнее время теплой воды от промпредприятия по каналу последний может включаться в конструкцию водозабора (рис. 398).

Бычки устраиваются из различных материалов, часто из железобетона и бетона. Толщина их определяется в зависимости от передаваемого на них давления воды при закрытых шандорами отверстиях; да и толщина самых шандоров влияет на выбор размера пазов в бычках, а значит, и на толщину последних. Бетонные и железобетонные бычки бывают толщиной 0,25—0,5 *м*, а иногда и более. Длина бычков определяется в зависимости от числа и размеров решеток, шандоров и других элементов сооружения. По очертанию своему в плане бычки бывают разных типов, чаще прямоугольными с торцами прямоугольной, полуциркульной, заостренной формы. Вместо бычков устанавливают иногда стойки из швеллеров, уголков и даже из деревянных брусьев или свай.

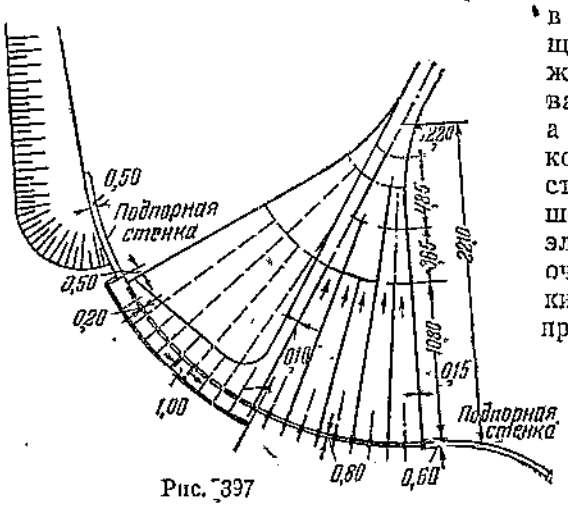


Рис. 397

Шандоры делаются в виде деревянных (из сосны) брусьев, отесанных на четыре канта; поперечное сечение их сохраняется одинаковым по длине; на концах оно иногда уменьшается в целях сокращения размеров пазов в бычках; для уменьшения веса шандоров им придают

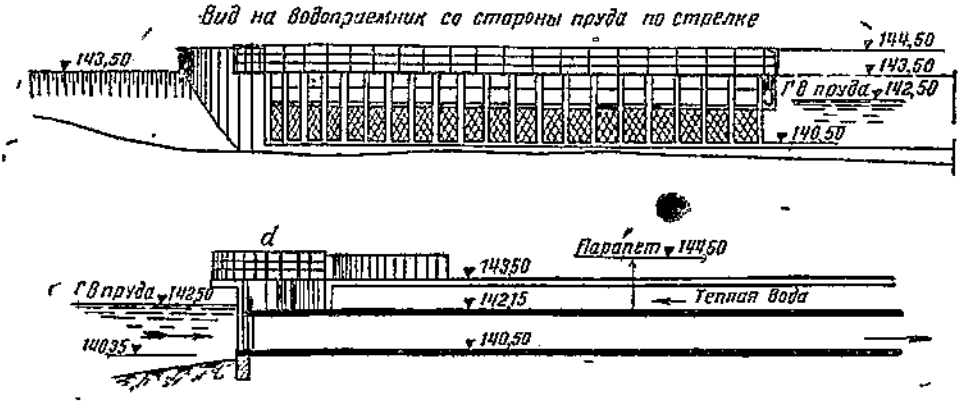


Рис. 398

иногда форму брусьев равного сопротивления. Для захвата шандоров при их подъеме и посадке концы снабжаются крючками.

Чистка головных решеток. На рис. 399 показана несложная машина американского типа, существенную часть которой составляют подъемные грабли; они подвешиваются на тросах впереди решетки; последняя — из металлических полос. При подъеме грабель тросами зубья их находятся в горизонтальном положении, входят в прозоры решетки и снимают с ее полос загрязнения. При спуске гра-

бель на другом тросе зубья висят свободно и не входят в соприкасание с полосами решетки. Для подъема затонувших у водоприемника предметов (например бревен) к граблям прикрепляются съемные

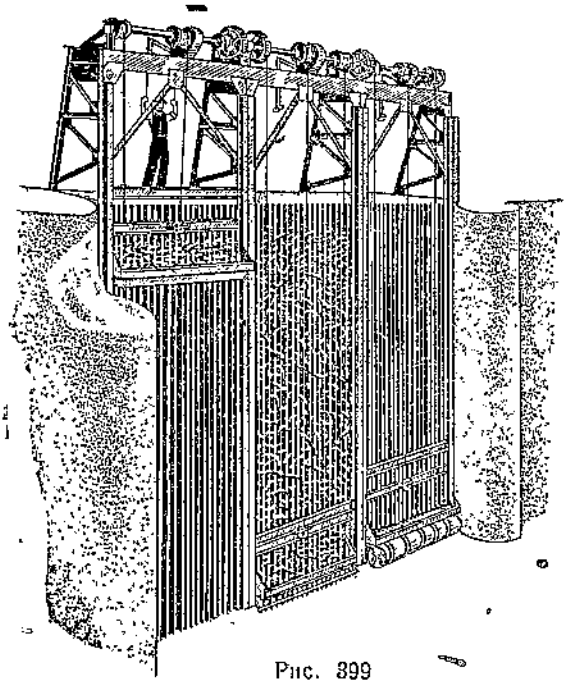


Рис. 399

крюки. При установке таких машин наверху забральной стенки водоприемника устраивают грязевой желоб для отвода загрязнений, снятых с решеток.

§ 75. Озерные водозаборные сооружения

Условия приема воды из озер

Качество воды. В больших озерах на больших глубинах порядка 30—40 *м* от зеркальной поверхности вода оказывается прекрасной по своим физическим и химическим качествам и в бактериальном отношении, будучи лишенной болезнетворных бактерий и имея незначительное количество колоний бактерий безвредных[1].

На больших глубинах вода отличается почти постоянной температурой, около 4—7°.

На рис. 400 показан для примера график колебаний температуры воды Боденского озера на глубинах от 0 до 100 *м* в различные времена года; по оси абсцисс отложены глубины

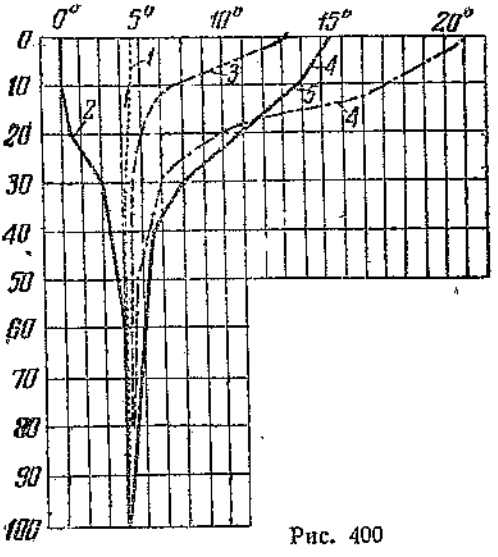


Рис. 400

[1] Так, в Боденском озере на глубине 45 *м* и в расстоянии 700 *м* от берега содержание колоний бактерий в 1 *см*³ воды колеблется, главным образом, в пределах 3—42, если не считать небольшого числа случаев превышения этих цифр.

в метрах, по оси ординат — температуры воды в градусах Цельсия.

Кривая *1* графика относится к 16 января; кривая *2* — к 27 февраля; кривая *3* — к 12 мая; кривая *4* — к 29 августа; кривая *5* — к 5 октября.

Что касается колебаний температуры по годам на одной и той же глубине, то об этом можно судить по диаграмме рис. 401, для того же Боденского озера — для глубины 45 *м* от поверхности и для возвышения в 5 *м* над дном за период времени 1907—1930 гг.; из диаграммы видно, что температура колеблется в пределах 5—7°, не считая отдельных исключительных случаев.

На дне озера скапливаются, иногда в значительных количествах, илистые осадки[1]. Последние во время бурь и ветров взмучиваются, и вода может оказываться загрязненной; в малых озерах это загрязнение может быть значительным — прозрачность воды может падать до 5—4 и даже до 2 *см*.

Сказанное заставляет устраивать прием воды на высоте нескольких метров от дна; в глубоких озерах эту высоту легко бывает делать в 5—10 *м*, в мелких же озерах поневоле приходится производить прием воды на высоте до 2,0 и даже до 1,5 *м* над дном.

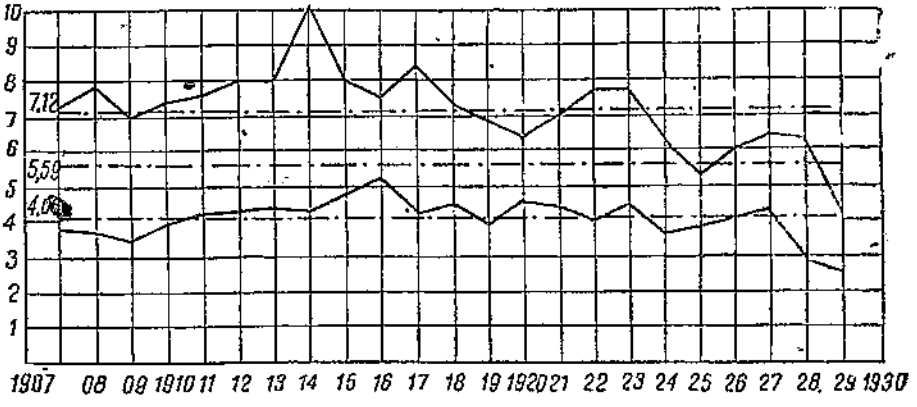


Рис. 401

При наличии на берегах озер селений, фабрик, заводов, гаваней и пр. вода может сильно загрязняться, причем это загрязнение распространяется иногда на значительные расстояния (в несколько километров) в глубь озер.

В озерах, особенно мелких, может происходить цветение воды.

Глубинный лед. В больших озерах в периоды интенсивной теплопотери воды имеет место появление глубинного льда; помимо суровой погоды этой теплопотере способствуют обычно ветры, дующие с берегов и уносящие поверхностный лед от последних в глубь озер.

Сгоны и нагоны воды при ветрах. Развивающиеся при ветрах волны могут достигать большой величины, которую необходимо учитывать при установлении отметок водоприемных отверстий водозаборов, осей насосов, верхних частей незаливаемых устройств.

Меньшее влияние на указанные отметки могут оказывать ритмические колебания уровня воды, называемые сейшами; однако недоучет их был бы неправилен, а иногда и вовсе недопустим[2].

Устойчивость берегов, которая зависит от их строения и разрушительной работы волн.

---

[1] В последних могут быть и бактерии.

[2] Например, на озере Севан наблюдаются сейши с амплитудой до 0,5 *м*.

В районах вечной мерзлоты приходится встречаться с небольшими провальными озерами, которые образуются здесь вследствие местных оседаний почвы и заполнения водой образующихся впадин.

Провальные озера могут представлять интерес лишь для водоснабжений малого масштаба да и то временного характера. Для технических целей вода таких озер по своим качествам обычно вполне пригодна, с санитарной же точки зрения она не всегда может считаться удовлетворительной.

При использовании провальных озер необходимо учитывать недостаточную устойчивость их берегов.

Водозаборные сооружения

Часто озерные водозаборные сооружения строятся в основном по типу речных с учетом перечисленных выше условий. В отдельных случаях могут находить применение береговые водозаборы, гораздо чаще встречаются водозаборы с самотечными линиями.

При получении воды из мелких небольших озер или из мелких береговых участков больших озер самотечная линия оканчивается во многих случаях просто вертикальным стояком с воронкой на его устье. Иногда стояк имеет оголовок простейшей конструкции.

На рис. 402 показано для примера одно из возможных устройств; здесь стояк окружен сквозным остовом из металлических или железобетонных подкосов и распорок; остов может изготавливаться на берегу и опускаться в назначенное место со льда зимой или с плотов в теплое время года; вместо указанного остова возможна забивка деревянных свай.

Остов имеет вверху плоское перекрытие, которое может играть роль служебной площадки.

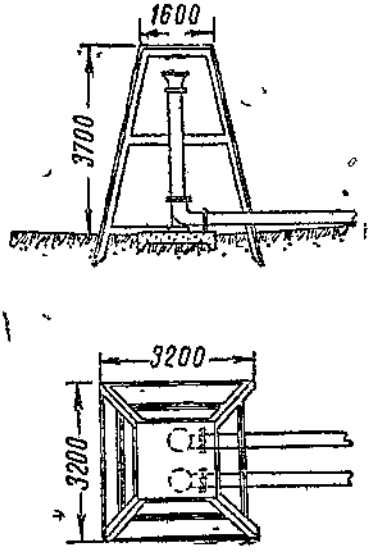


Рис. 402

Если самотечная линия прокладывается на достаточной высоте над дном озера, например на сваях, то она оканчивается не стояком, а горизонтальной воронкой с грубой решеткой из вертикальных прутьев. Подобные устройства не обеспечивают бесперебойного приема воды в периоды появления глубинного льда. Для борьбы с последним при водозаборе, удаленном от берега на расстояние не очень большое, определяемое примерно десятками метров, может оказываться целесообразным обогрев водоприемных отверстий электрическим током или паром; немалую помощь может оказывать сброс достаточно чистой теплой воды от производства.

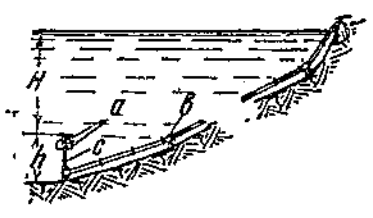


Рис. 403

При сравнительно чистой озерной воде, но при тяжелых ледовых условиях рационально применение оголовков, которые отмечены на стр. 271.

При устройстве водозаборов из глубоких озер прием воды делают (рис. 403) из точек с большой чистотой воды, с глубин H порядка 30—50 *м*, в расстояниях l от берега, измеряемых многими сотнями метров. Устье a приемной линии труб в виде воронки не имеет обычно оголов-

ка, приподнимается над дном на высоту h около 4—10 *м* и снабжается трубой решеткой, а иногда и вовсе ее не имеет.

Большая чистота воды, а также топографические, гидрологические и другие условия позволяют иногда приемную линию труб делать всасывающей без устройства берегового колодца, как показано на рис. 404.

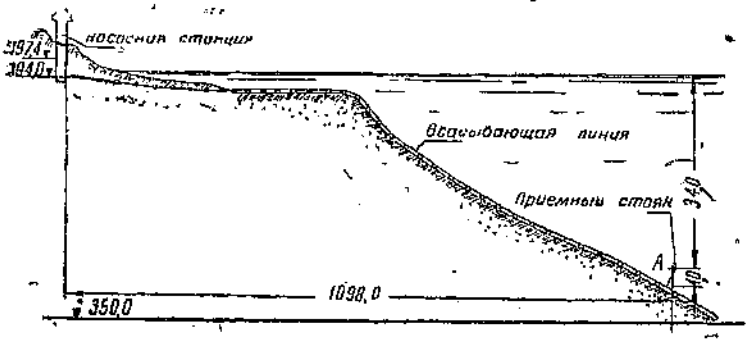


Рис. 404

При получении воды из озер вместо самотечных линий целесообразно прокладывать сифонные; ввиду того что случаи чистоты воды в озерах более вероятны, чем в реках, при устройстве озерных водозаборных сооружений иногда возможна замена глубоких береговых колодцев вакуум-котлами.

Проф. Н. Г. Малишевским предложено для задержания из получаемой воды остатков растений и мелкой рыбешки устанавливать в котле сетки. Для очистки последней (без спуска в котел) должны предусматриваться щетки, укрепленные на оси, которая пропускается через стенку котла с постановкой сальника; одновременно с чисткой сетки производится смыв с нее загрязнений; промывочная вода удаляется из котла через особое ответвление.

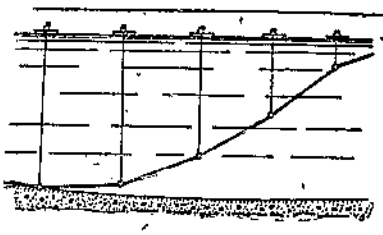


Рис. 405

Приемы прокладки самотечных и сифонных линий из озер опять-таки во многом сходны с приемами, указанными для рек. Но здесь чаще встречаются случаи, когда самотечные линии прокладывают с шарнирными соединениями с лодок (рис. 405) или при помощи шаланд (рис. 406): тогда на берегу озера собираются отдельные секции из нескольких труб каждая; затем секции закрываются по концам пробками, осторожно скатываются на воду к шаландам и здесь поддерживаются полиспастами, а иногда и поплавками в виде пустых бочек и т. п.; секции наплаву отводятся к месту укладки, освобождаются от пробок, наполняются водой и медленно погружаются на тросах; соединение же отдельных секций одна с другой производится уже под водой при помощи водолазов.

При получении воды из больших озер нередко приходится сталкиваться с тем обстоятельством, что глубокие места, наиболее подходящие для забора воды[1] (в смысле ее бактериальной чистоты, очень слабого цветения, очень малой опасности в отношении глубинного льда), находятся в значительном отдалении от берега (2,0—5,0 *км* и даже больше). В таком случае при устройстве большого водоснабжения прием воды делают при помощи криба; последний — обычно коль-

[1] С глубинами в 15,0—10,0 *м* или (в редких случаях) несколько меньше.

цевого типа (рис. 407) из двух стальных оболочек, промежуток между которыми заполняется бетоном. Ввиду громадных давлений льда и волн толщина стен — порядка 5—7 *м*. В стенах — окна, размещаемые

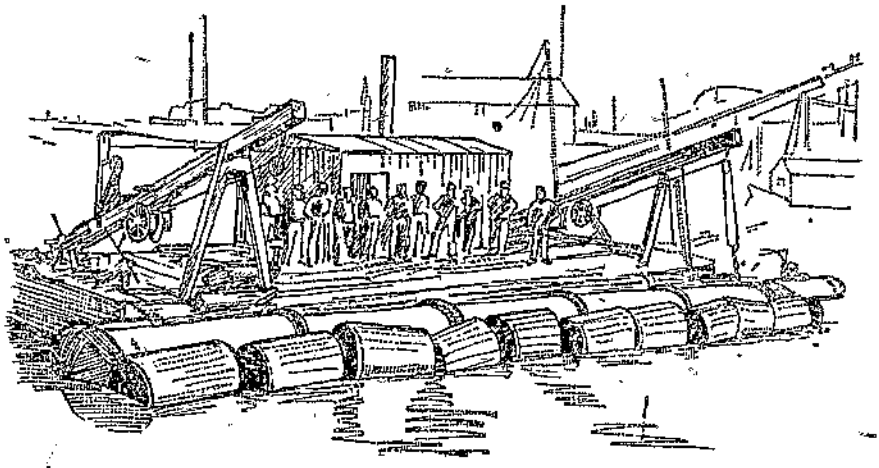


Рис. 406

по всему периметру криба с расчетом, чтобы входные скорости воды были возможно малы, порядка 0,1—0,05 *м/сек* в целях борьбы с глубинным льдом. Низ окон на высоте 2,0—3,0 *м* над дном и более, верх

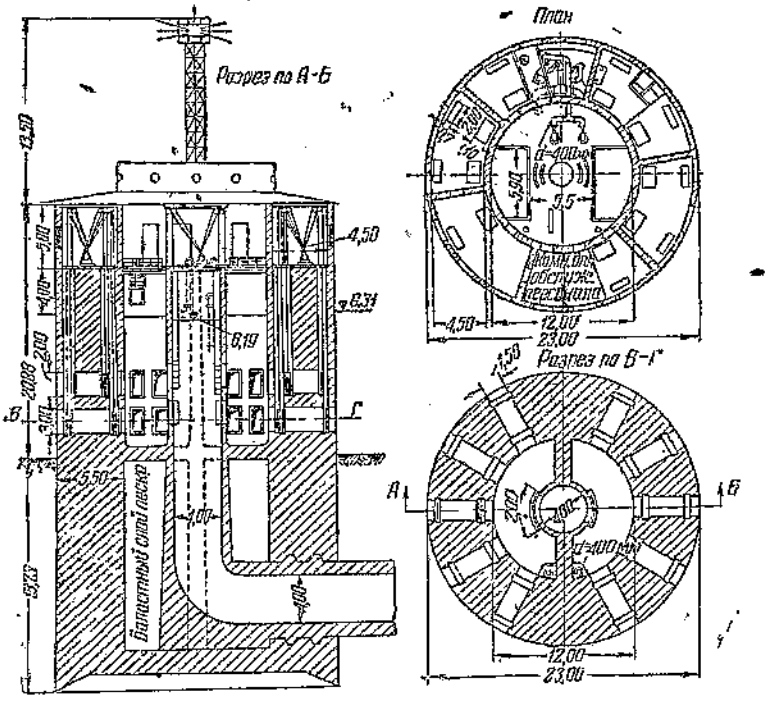


Рис. 407

же их заглублен под уровнем воды на 5—10 *м* и еще более. Поступившая через окна вода сливается затем в вертикальную шахту, устраиваемую внутри криба по его оси. Между шахтой и стеной ставят иногда

сетки и решетки. Из шахты вода идет в туннель диаметром 2,5—4,0 *м*, по которому и отводится к берегу. Туннель под дном озера на глубине, исчисляемой иногда десятками метров[1]. Криб имеет надводную надстройку с помещениями жилыми, служебными, машинными, складскими, иногда с печью для сжигания отбросов. На крибе — маяк и в соответствующих случаях дополнительная сигнализация. В крибе предусматриваются установки для обогрева решеток входных окон, если имеется опасность в отношении глубинного льда (при не вполне достаточной глубине воды и других тяжелых условиях); криб разделяют иногда на две независимые друг от друга секции и располагают приемные окна в два яруса.

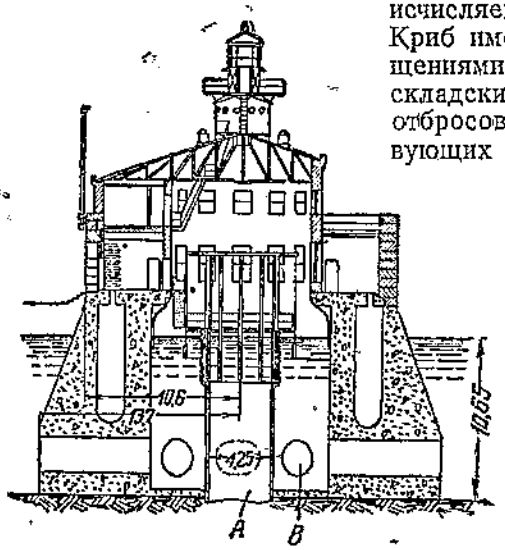


Рис. 408

На рис. 408 показан криб водоснабжения г. Чикаго из оз. Мичиган. Криб расположен в точке с глубиной воды 10,65 *м*, криб — из двух металлических оболочек с заполнением пространства между ними бетоном. В стене криба устроено восемь приемных окон овального очертания размерами около 2,4 × 3,0 *м* для поступления воды со скоростью 0,3 *м/сек*. Стена криба на высоту около 5,0 *м* от дна вертикальна, а далее она имеет уклон в 1/3, причем наружный диаметр внизу

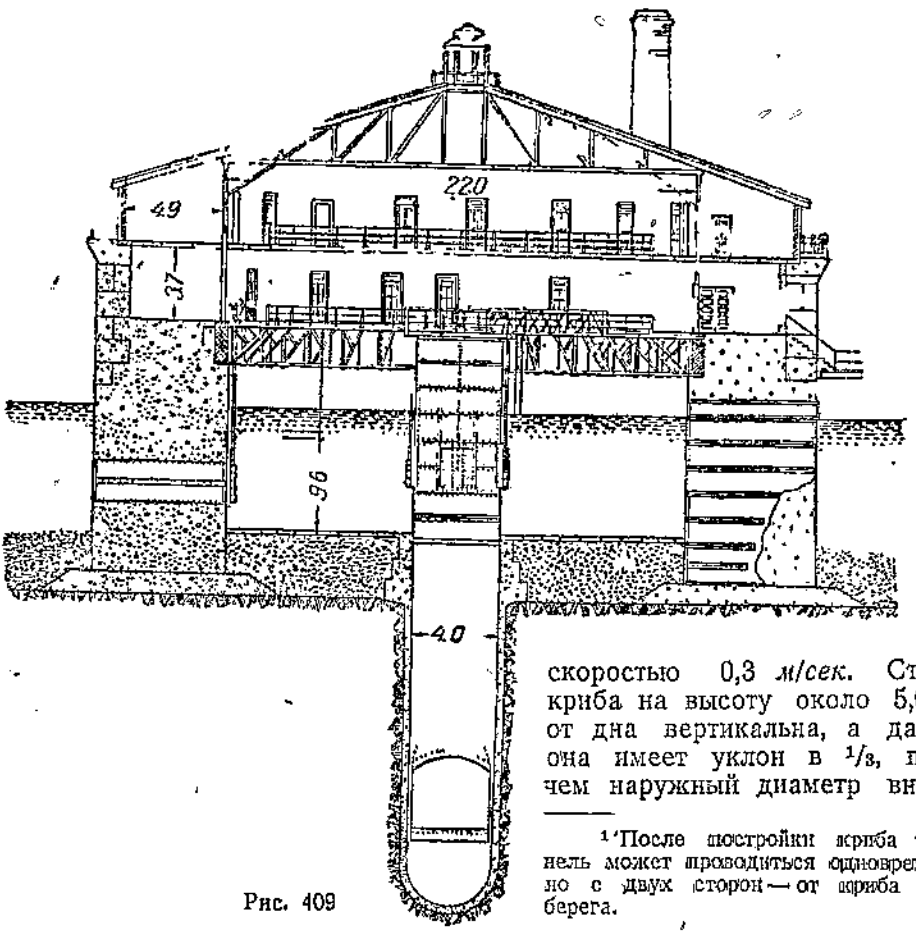


Рис. 409

[1] После постройки криба туннель может проводиться одновременно с двух сторон — от криба и с берега.

27,45 *м*, а вверху 21,35 *м*; внутренний же диаметр криба 12,2 *м*. Высота бетонной части криба около 14,0 *м* от дна и примерно на 3,0 *м* выше уровня воды. Поступившая в криб вода проходит решетки и сливается[1] в вертикальную шахту диаметром 4,25 *м*, из которой идет в туннель, устроенный в скале на глубине 38 *м* под горизонтом воды в озере. На рис. 409 показан криб на озере Эри для водоснабжения г. Буффало (США). Он состоит из бетонного кольцевого массива с толщиной стен около 6,0 *м*, заключенного снаружи и внутри в обшивку из железа толщиной 12 *мм*. Входные окна числом 12 имеют размеры 1,8 × 1,8 *м*. По оси криба — вертикальная шахта диаметром 4,0 *м* из железа толщиной 19 *мм*. Для входа в криб устроен специальный служебный причальный мостик. От криба к берегу вода идет по туннелю размерами 2,75 × 2,3 *м*.

В СССР криб был запроектирован для получения воды из Ладожского озера для водоснабжения Ленинграда.

§ 76. Морские водозаборные сооружения

Условия забора воды из морей

Забор воды из моря может иметь место: 1) для производственных целей, 2) для опреснения на питьевые нужды, 3) для поливки и обслуживания санитарных приборов, 4) для бальнеологических целей (ванные заведения и т. п.).

При устройстве забора воды из моря необходимо учитывать следующие специфические условия.

Соленость морской воды. Она выражается в весовых единицах содержания солей на 1 000 весовых единиц воды — в весовых промиллях. В зависимости от интенсивности испарения, от количества выпадающих осадков, от количества вносимых в моря речных пресных вод и других условий соленость воды разных морей в разных точках в различное время года бывает различной.

Так, например, Черное море в северо-восточной части его имеет сравнительно малую соленость — около 17‰, в средней же и южной частях — до 18,5‰; Азовское море имеет сравнительно малую соленость, которая в разных местах изменяется в пределах 9,3‰—12‰; соленость Балтийского моря еще меньше; в Финском заливе (посредине) она равна примерно 4,3‰, а в глубь залива уменьшается до 2‰; Белое море имеет в горловине соленость около 33‰, в середине около 25‰, а в южной части Двинского залива около 19‰; в Каспийском море вдали от берегов соленость колеблется от 10‰ до 15‰, вдоль же берегов встречаются полосы с соленостью только в 3 и даже в 1‰.

Морская вода содержит в себе, главным образом, следующие соли: хлористый натрий и магний, сульфаты магния, кальция, калия и в относительно малом количестве углекислый кальций.

Температура морской воды. Температура воды у поверхности моря колеблется в значительных пределах. Суточные колебания температуры заметны до глубины 25—30 *м*. Например, наибольшие температуры воды Черного моря у Туапсе летом 1926 г. были у поверхности моря 29,9°, на глубине 5,0 *м* — 29,8°, на глубине 10,0 *м* — около 24,4° и на глубине 15,0 *м* — 23,8°.

Цветение морской воды. Оно часто имеет место, особенно в летнее время; степень цветения в каждом данном пункте моря зависит от направления ветров; при неблагоприятных, дующих к берегам ветрах цветение воды может быть столь сильным, что вода напоминает тогда по виду жидкую кашицу зеленого или другого цвета.

Водоросли в морской воде. Они могут скапливаться большими массами у водоприемных устройств и закупоривать их решетки, трубы

[1] Слоем в 3,0 *м*.

и пр.; особенно опасны в этом отношении водоросли с прочными сильно разветвленными стеблями, которые при значительных волнениях срываются с корней и прибиваются к берегам.

Морские ракушки. Они могут вызывать обрастание ими водоприемных устройств — береговых колодцев, решеток входных отверстий, самотечных труб и др.; обрастание это бывает иногда столь значительно, что трубы на большей части их поперечного сечения оказываются забитыми ракушками; последние прикрепляются к поверхности труб настолько прочно, что даже весьма интенсивная промывка обратным током воды не дает положительных результатов.

Немалые осложнения в работе водозаборов могут происходить также при появлении в воде большого количества м е д у з. Они могут вызывать сильную закупорку решеток и сеток водоприемных устройств, грозящую срывом работы насосов.

Сгоны и нагоны морских волн. Они могут достигать иногда больших величин и при недоучете их могут иметь место нарушения работы водозаборных сооружений; так, например, при сгонах могут обнажаться входные окна водоприемников, устья самотечных или сифонных труб, увеличиваться до недопустимых цифр высота всасывания насосов; кроме того, при небольшой глубине моря у водоприемника в последний может поступать немало песка.

Штормы. Штормы большой балльности могут вызывать значительные нарушения правильной работы водозаборных сооружений. Волны могут заливать насосные станции, прерывать возможность сообщения с ними, вызывать очень сильное замутнение воды, занос водоприемников песком и различным мусором. Этого во многом удается избежать при расположении водоприемников в спокойных местах—в защищенных от волнений бухтах и т. п., однако здесь возможно большее развитие ракушечника.

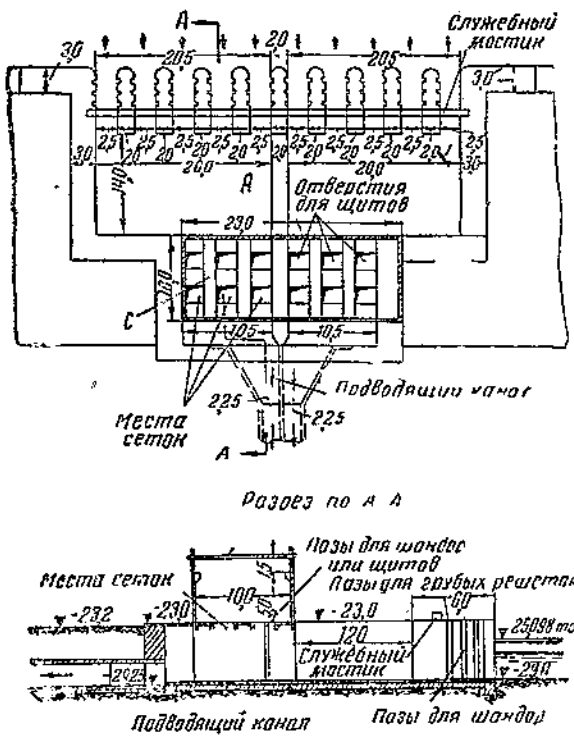


Рис. 410

Водозаборные сооружения. При получении морской воды из спокойных мест встречаются водозаборы с самотечными линиями, оканчивающимися в оголовках. Интересное решение по компоновке дают при этом водозаборы, имеющие оголовки, из которых водоприемные трубы идут по молу-гавани к насосной станции, когда последняя к тому же располагается на самом молу.

Опять-таки при получении воды из спокойных мест могут находить применение водоприемники открытого типа, напоминающие собой береговые открытые водоприемники из водохранилищ. Пример такого устройства дан на рис. 410 для водоснабжения одной из тепловых электростанций. Через входное отверстие, разделенное бычками на 10 пролетов по 2,5 *м*, вода поступает в аванкамеру *А* и

затем к вращающимся сеткам, расположенным в здании *C*; пройдя сетки, вода самотеком по подводящему каналу идет к насосной станции.

В стенках бычков имеются пазы для установки грубых решеток и шандоров. Для оперирования ими по бычкам перекинут служебный мостик.

На рис. 411 показан водозабор для водоснабжения большой тепловой электростанции. На деревянной эстакаде установлены центро-

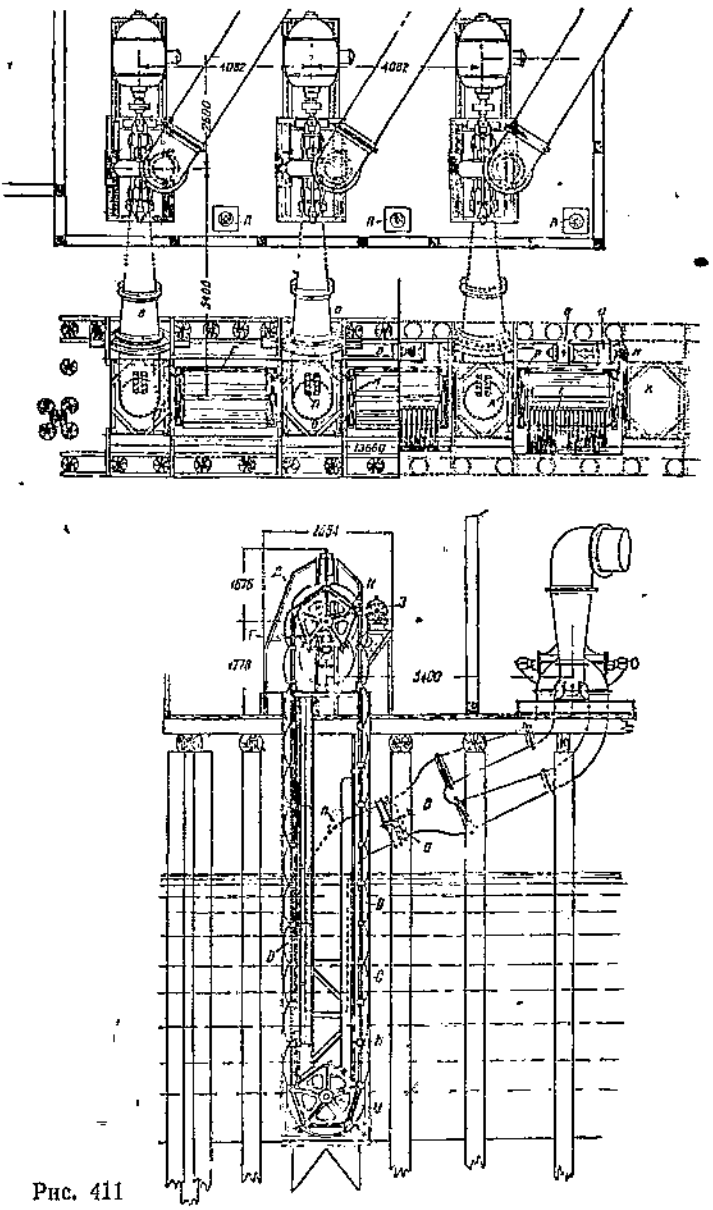


Рис. 411

бежные насосы часовой производительностью по 4 000 $м^3$ каждый. Всасывающие линии свободно подвешены в камерах *K*, которые при помощи окон могут сообщаться с камерами вращающихся сеток прямоточного типа.

Обследования морских водозаборов, произведенные в СССР, показали полную целесообразность применения таких сеток. Помещение последних в упомянутых камерах позволяет вынимать в любой момент

весь механизм той или другой сетки для осмотра, ремонта и устранения заеданий от случайно попавших предметов.

Наиболее рациональный размер ячеек сетки оказывается в пределах 5 × 5—4 × 4 *см*.

При периодическом появлении в воде медуз к стенкам привариваются ковшеобразные полки; последними медузы поднимаются к поверхности земли, а затем сбрасываются в отводные желобы.

В отдельных случаях может иметь место устройство инфильтрационных водозаборов; как показывает практика, удачными оказываются как горизонтальные водосборные трубы, так и шахтные колодцы.

Такие водозаборы могут заслуживать особого внимания в тех случаях, когда получение воды непосредственно из моря будет нецелесообразно по причинам техническим или ввиду большого загрязнения морской воды.

§ 77. Водозаборные сооружения временного типа

Сюда могут быть отнесены прежде всего подвижные водозаборы. Одним из типов их является фуникулерный, применяемый как при пологих, так и очень крутых берегах рек. Сущность его устройства заключается в следующем (рис. 412). В специальном вагончике[1] разме-

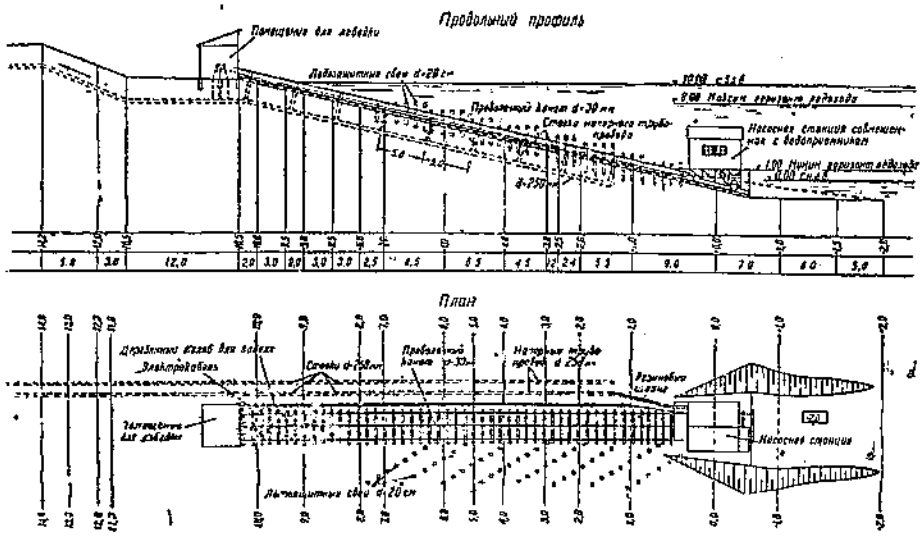


Рис. 412

щаются насосы с двигателями — электрическими, внутреннего сгорания или паровыми котлами. Всасывающие линии насосов выпускаются из вагончика наружу и имеют свои приемные клапаны в коробке, прикрепленной к стенке вагончика. При помощи стального каната и лебедки, располагаемой на берегу выше горизонта высоких вод реки, вагончик может быть перемещаем по рельсам, которые укладываются по откосу берега до уреза воды при низком горизонте. Поднимаясь и опускаясь указанной лебедкой, вагончик устанавливается на отметке, соответствующей положению уровня воды в реке в каждый данный период времени с учетом допускаемой высоты всасывания насосов.

Вдоль рельсового пути укладывается водовод имеющий вертикальные отростки; к последним при помощи гибких шлангов и присоединяются насосы. Взаимные расстояния между отростками назначаются в зависимости от скорости подъема воды при паводках, чтобы вагон-

[1] Могут быть использованы и товарные железнодорожные вагоны.

чик требовал передвижки не слишком часто, например, 1 раз в двое-трое суток.

На рис. 413 показан пример водозабора фуникулерного типа.

Два центробежных насоса производительностью по 100 *л/сек* с электромоторами мощностью по 100 *кв* размещены в деревянном здании — вагончике размерами 5,0 × 4,8 × 2,8 *м*[1]. Вагончик укреплен на

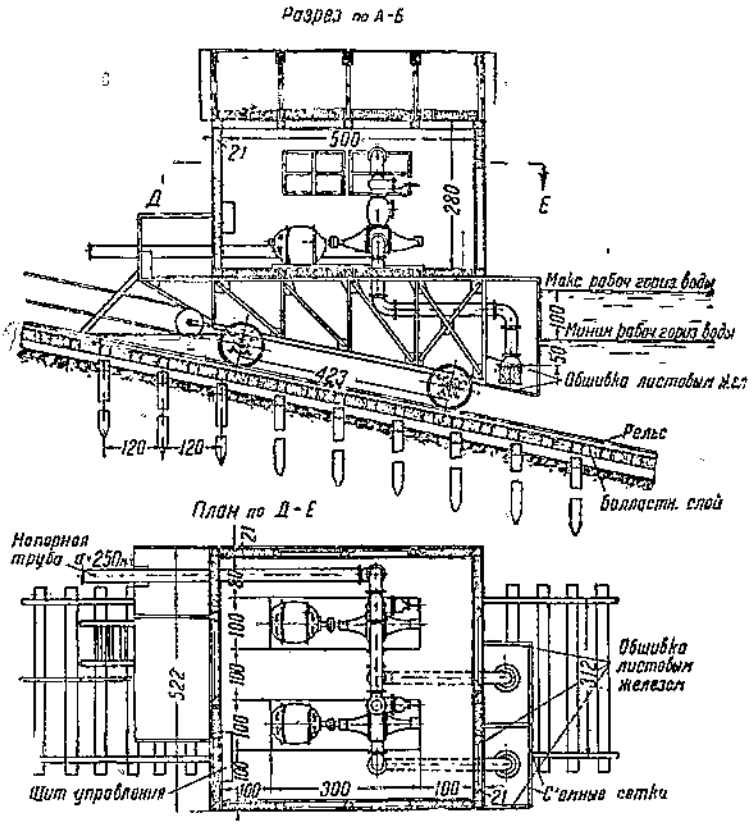


Рис. 413

металлической тележке[2], которая опирается на два ската с колесами и может быть перемещена при помощи стального каната и лебедки по рельсовому пути (с колеей в 3 120 *мм*)[3].

Для уменьшения ширины пути нижняя часть тележки сужена.

Две всасывающие линии насосов располагаются под зданием станции и концы их находятся внутри тележки в приемном ящике (размерами 3,3 × 1,1 *м* в плане), имеющем каркас из углов 60 × 60 × 8 *мм*,

[1] Здание насосной — каркасного типа при засыпке стен, пола и потолка опилками с антисептиком. Перекрытие — двухскатное с углом наклона в 25°. Дощатые стропила с затяжками поставлены через 1,3 *м*. Кровля — толевая по сплошной деревянной обрешетке.

[2] Тележка состоит из продольных и поперечных фермочек со связями. Каждая продольная фермочка имеет 4 панели, верхний пояс горизонтальный, нижний наклонный, стойки и раскосы. Поперечные фермочки — трапецоидальные. Все элементы фермочек из уголков 60 × 60 × 8 *мм* и швеллеров № 12. Вес тележки около 1,6 *т*.

На скаты тележка опирается нижними поясами продольных фермочек при помощи подшипников, состоящих из чугунной обоймы и дубового вкладыша. Ось ската принята диаметром 120 *мм*, длиной 3 190 *мм*, колеса же — диаметром 840 *мм* при диаметре реборд в 900 *мм*.

[3] Рельсовый путь прокладывается на сваях толщиной около 20 *см*; на шипы каждой пары свай укладываются продольные брусья, на которых укрепляются шпалы.

дно и три стороны ящика обшиты листовым железом, четвертая же — заполняется сетками с отверстиями 5 × 5 *мм;* деревянной перегородкой ящик разделен на две секции.

Высота тележки в месте расположения всасывающих линий принята из условия возможности размещения их и, кроме того, по соображениям, чтобы насосы могли забирать речную воду без передвижки станции при изменениях горизонтов воды до 1 *м*.

В соответствии с этим для присоединения насосов к водоводам на последних через каждые 5 *м* устанавливаются стояки, возвышающиеся над поверхностью земли. Водоводы — из двух параллельных ниток диаметром 250 *мм* — укладываются вдоль пути. Идущая от насосов напорная линия имеет гибкий, армированный стальной проволокой шланг; присоединение последнего к стоякам водовода может происходить при помощи специального патрубка с винтовой нарезкой или обычных фланцев.

На каждой нитке водовода за стояками предусматриваются задвижки и обратные клапаны.

Вблизи рельсового пути имеется, кроме того, деревянный ящик для прокладки изолированного кабеля, подающего электроэнергию к насосному зданию.

Барабан для электрокабеля и лебедки размещаются в сарае (размерами 3,5 × 4,1 *м*) в виде деревянного каркаса, обшитого одним рядом досок.

Лебедка для перемещения станции принята в 10 *т* с двойной передачей[1]; диаметр стального каната — 30 *мм*.

Для защиты от льдин как насосного здания, так и выступающих над поверхностью земли стояков забиваются (под углом около 30° к рельсовому пути) ряды свай толщиной 20 *см* по 6 шт. в каждом; сваи каждого ряда срезаются под одну отметку — на 1 *м* выше верха свай ряда предыдущего (считая от реки).

Водозаборы фуникулерного типа встречаются в США не только как временные, но и как постоянные устройства; например, в водоснабжении г. Боулдер таким способом производится забор воды в количестве 7 500 *м³/сутки* из р. Колорадо, которая отличается резкими колебаниями уровней и громадной мутностью воды.

Другим типом подвижного водозабора является плавающий. Насосные агрегаты монтируются на деревянной барже, которая имеет деревянный или металлический остов. Концы всасывающих труб насосов находятся в особых водоприемных камерах, которые помещаются или внутри баржи или, что хуже, снаружи ее. Высота всасывания остается всегда постоянной, так как насосы поднимаются и опускаются вместе с баржей при колебаниях горизонтов воды. Водоводы близ реки прокладываются на эстакаде; концы их соединяются с напорными патрубками насосов гибкими армированными шлангами. Так как шланги большой длины нерациональны вследствие большого их прогиба и опасности разрыва при наполнении их водой, а также трудности утепления в зимнее время, при конструировании водозабора следует уменьшать длину шлангов насколько возможно. С этой точки зрения представляет интерес плавучий водозабор на р. Каме (рис. 414). Здесь водовод, проложенный по эстакаде, соединен с тремя центробежными электромоторными насосами производительностью по 500 *л/сек* каждый, установленными на деревянной барже. Последняя связывается с

---

[1] Расчетное подъемное усилие равно 17,25 *т*; для уменьшения грузоподъемности лебедки отмеченное усилие передается на два конца каната, который перекидывается через блок. Последний прикрепляется к нижнему поясу передней поперечной фермочки тележки посредством двух стальных ушков.

Один конец каната наглухо закрепляется за сваи, забиваемые на берегу, а другой наматывается на барабан лебедки.

эстакадой при помощи трех жестких металлических фермочек, имеющих по два двухплоскостных шарнира, которые позволяют иметь не только вертикальные, но и горизонтальные перемещения. На каждой фермочке укреплена стальная труба; при помощи коротких отрезков гибких шлангов один конец трубы соединен с водоводом, а другой — с насосом. Указанные фермочки при соответствующей их прочности могут, благодаря наличию шарниров, предупреждать удары баржи об эстакаду. Сколько-нибудь большие горизонтальные подвижки баржи предупреждаются при помощи канатов, которые закрепляются в откосе берега и по концам баржи.

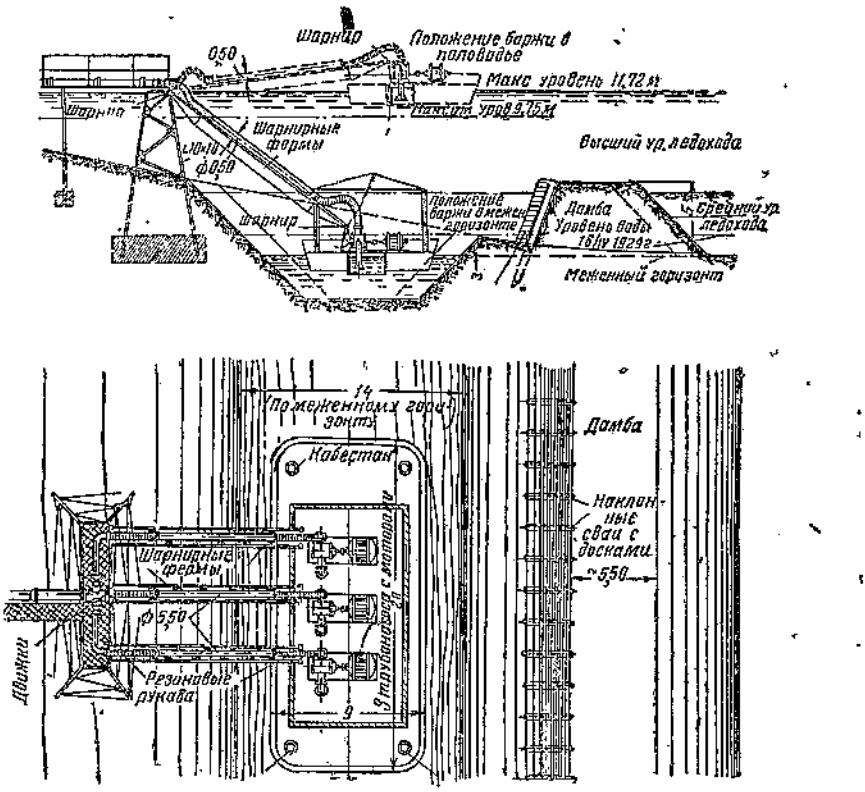


Рис. 414

Пловучим водозаборам присущи недостатки, из которых отметим главные: а) необходимость иметь гибкие шланги, которые при больших диаметрах и высоких внутренних давлениях воды оказываются очень громоздкими, а конструкции стыковых соединений их пока еще не разработаны достаточно хорошо; б) тяжелые условия эксплоатации при сильных ледоходах; поэтому они обычно применяются в случаях расположения их в местах, защищенных от ледохода, в частности, в затонах.

Пловучим водозабором присущи, однако, и большие достоинства: а) прием воды независимо от колебаний уровней реки; б) очень быстрое осуществление при возможности получить баржу на месте, например, от органов речного флота. Ввиду этого они заслуживают немалого внимания при устройстве временных водоснабжений для получения не очень больших количеств воды из рек со значительной амплитудой колебаний уровней при подаче ее на небольшие высоты (первый подъем). Пловучие водозаборы нашли применение и в нескольких постоянных водоснабжениях промпредприятий с баржами металлическими или же-

лезобетонными. Важно учитывать возможность использования плавучих водозаборов в условиях МПВО.

Во временных водоснабжениях небольшого масштаба, при восстановлении водоснабжений и пр. может находить применение плавающий агрегат (рис. 415).

Здесь вертикальный центробежный насос производительностью 10,0 *л/сек* с напором в 30,0 *м* и вертикальный же электромотор мощностью 6,0 *квт* с противосыростной изоляцией заключены в стальном

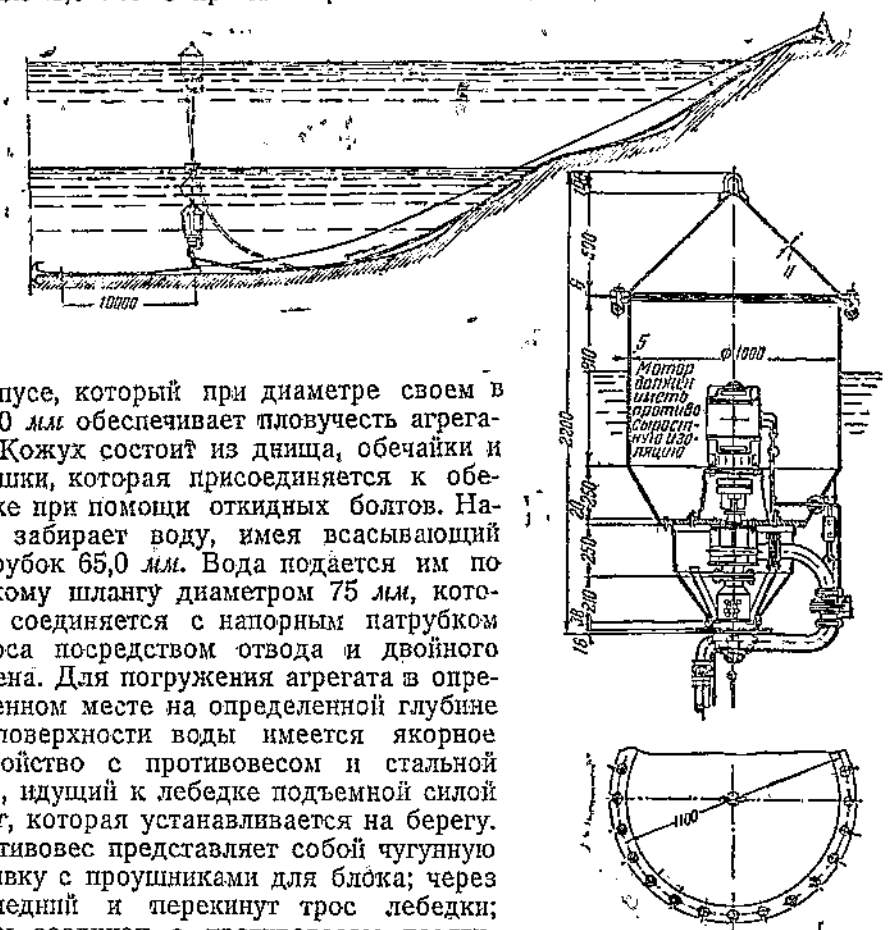


Рис. 415

корпусе, который при диаметре своем в 1 000 *мм* обеспечивает плавучесть агрегата. Кожух состоит из днища, обечайки и крышки, которая присоединяется к обечайке при помощи откидных болтов. Насос забирает воду, имея всасывающий патрубок 65,0 *мм*. Вода подается им по гибкому шлангу диаметром 75 *мм*, который соединяется с напорным патрубком насоса посредством отвода и двойного колена. Для погружения агрегата в определенном месте на определенной глубине от поверхности воды имеется якорное устройство с противовесом и стальной трос, идущий к лебедке подъемной силой 1,0 *т*, которая устанавливается на берегу. Противовес представляет собой чугунную отливку с проушниками для блока; через последний и перекинут трос лебедки; якорь соединен с противовесом десятиметровой некалиброванной цепью. Расчетный вес агрегата около 600 *кг*. Имея малые габариты и вес, агрегат, будучи установлен у поверхности воды, не получает достаточной устойчивости при ветровых волнах; так, волна высотой 30 *см* может уже вызывать довольно сильный крен агрегата. Поэтому при такой установке последнего необходимо применить, например, плот или плавучую запань, которая и воспринимает непосредственно воздействие волны и повышает устойчивость агрегата.

Запань может быть устроена, например, из четырех бревен, образующих квадрат и соединяющихся между собой болтами; по диагоналям квадрата — канаты для удержания агрегата в центре, сама же запань должна удерживаться цепями или тросами.

Рассмотренный агрегат может быть применен и при наличии ледяного покрова; в последнем делается тогда прорубь.

Подобные агрегаты, но с двигателями внутреннего сгорания могут монтироваться на плотах, лодках, поплавках.

Установка по рис. 416 предполагает использование лодочного мотора с вертикальным центробежным насосом производительностью 10 *л/сек* с напором 30 *м* и числом оборотов 2 400 в минуту. Мотор имеет мощность в 8 *л. с.*, двухтактный, двухцилиндровый, с числом оборотов около 2 700, работает на бензине второго сорта в смеси с автолом (с расходом около 500 *г* на *1 л. с.* в час); с насосом он соединен на одном валу.

Лодка устанавливается на якорях и может изменять свое положение по вертикали при колебаниях горизонтов воды в водоеме. Для подачи воды к берегу служит шланг диаметром 75 *мм*.

Возможны также водозаборные сооружения с устройством эстакад. На рис. 417 показан такой водозабор раздельного типа, а на рис. 418 — совмещенного типа.

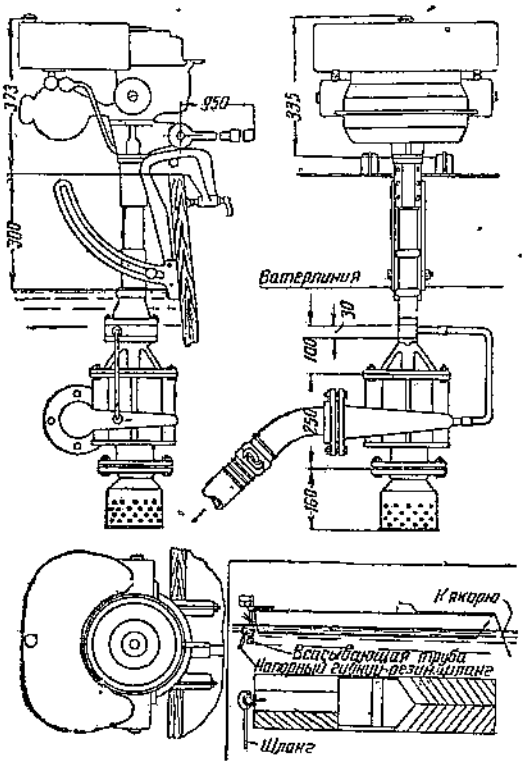


Рис. 416

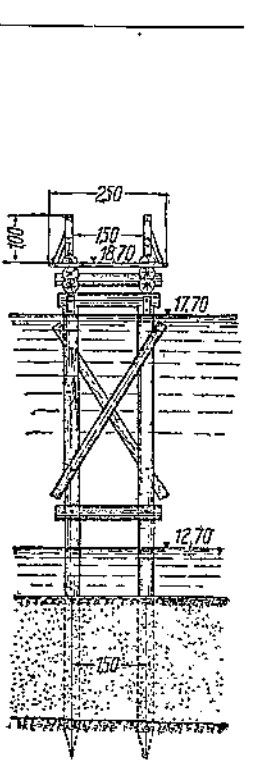


Рис. 417

В первом случае насосная станция расположена на берегу и от нее по эстакаде проложены всасывающие линии, оканчивающиеся частями, которые имеют шарниры и могут подниматься и опускаться при помощи ручных лебедок, благодаря этому концы всасывающих линий могут снабжаться решетками, а это в свою очередь позволяет обходиться без берегового колодца.

В водозаборе по рис. 418 на речном конце эстакады расположена насосная станция в деревянном павильоне, оборудованная одним центробежным насосом, который непосредственно соединен с автомобильным двигателем ЗИС-5.

Всасывающая линия представляет собой шланг, который в нерабочее время зимой поднимается и подвешивается во избежание обмерзания; для этой цели предусмотрены тали.

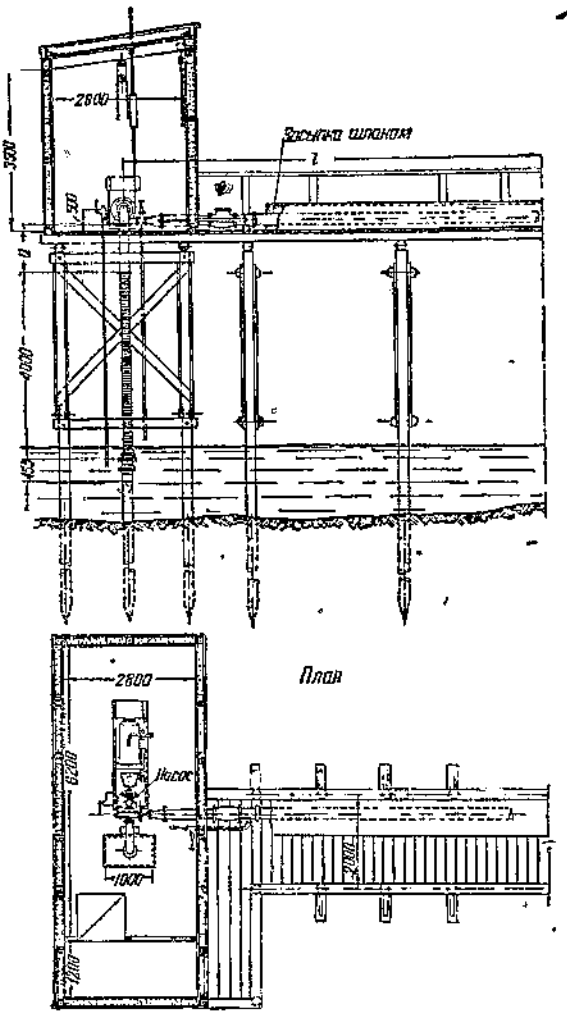


Рис. 418

§ 78. Цистерны для сбора атмосферной воды

В районах, бедных источниками пресной воды, большое значение могут иметь цистерны. Это — подземные резервуары для сбора дождевой воды с водосборных площадок, которыми могут служить или крыши зданий (металлические, черепичные, шиферные, бетонные) или специально устраиваемые на поверхности земли площадки с водонепроницаемым покрытием.

Получаемая таким образом вода отличается слабым загрязнением взвешенными примесями (при содержании в чистоте водосборных площадок), может иметь малое количество бактерий, главная ее ценность — мягкость, так как жесткость ее обычно не превышает 0,5° — 1°.

Существует много типов цистерн; из них отметим два — русский и американский.

Русская цистерна показана на рис. 419. Она представляет собой цилиндрический колодец *Е* диаметром до 1,5—2,0 *м*, имеющий внизу коническое днище; верх колодца обделан в виде шахточки диаметром

около 0,7 *м*; общая глубина цистерны 3—4 *м*. Стенки ее и днища — из бетона, кирпича, местного камня. При цистерне устройство для очистки воды, представляющее собой каменный резервуар, разделенный на три отделения — приемник *B*; отстойник *A* и фильтр *C*. Поступающие в приемник по трубам первые порции дождевой воды, смывающие с поверхности водосбора загрязнения, целесообразно сбрасывать по водосточной линии и только последующие количества воды направлять в отстойник и далее на фильтр; загрузка последнего состоит из песка слоем в 0,5—0,6 *м*, который укладывается на поддерживающие слои гравия; скорость фильтрации порядка 0,1—0,2 *м/час*.

На рис. 420 показана в поперечном разрезе американская цистерна. В отличие от русской она имеет устройство для очистки воды, помещаемое в самой же цистерне и представляющее собой фильтрующий цилиндр; он состоит из 2—3 концентрических сеток, укрепленных на цилиндрических металлических каркасах: в промежутках между сетками — песок; внутри такого цилиндра и помещается всасывающая труба насоса. При загрязнении песка он заменяется чистым, для чего необходим подъем цилиндра на поверхность земли. Несмотря на сравнительную простоту такой операции, американская цистерна имеет тот недостаток, что должна принимать воду

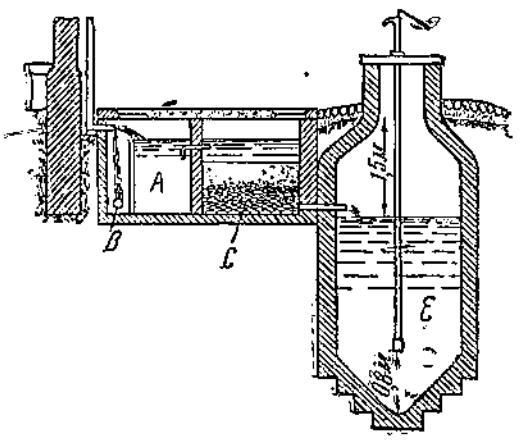


Рис. 419

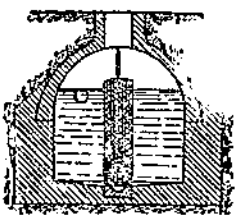


Рис. 420

до ее предварительной очистки, и с этой точки зрения менее рациональна, чем русская.

Вообще же к устройству цистерны должны предъявляться следующие требования: а) стенки и днище должны быть водонепроницаемы во избежание утечки воды из цистерны и подтока в нее грунтовых вод — сильно минерализованных (засоленных), загрязненных и т. п., б) заглубление цистерны должно быть достаточным для предупреждения сильного охлаждения и замерзания воды зимой и прогревания ее летом; заглубление должно поэтому выбираться в соответствии с местными климатическими условиями, в) цистерна должна быть оборудована переливной трубой и холостой — для выпуска воды и осадков; в этих целях днищу цистерны необходимо придавать уклон по возможности не менее $^1/_{100}$—$^1/_{80}$; г) цистерна должна быть обеспечена хорошей вентиляцией; при соблюдении этого условия вода может сохраняться в цистерне без существенного ухудшения ее качества; для того чтобы хранение воды могло быть продолжительным, следует направлять в цистерну уже очищенную воду. Обязательно периодическое хлорирование хранимой воды небольшими дозами хлора.

Необходимая полезная емкость цистерны W может быть определена из условия:

$$W = qt + V_n,$$

где t — расчетный период водопользования цистерной в сутках;

q — средний суточный расход воды из цистерны;

$V_п$ — запас воды для противопожарных целей.

Общая же вместимость цистерны W_0 определяется с учетом инертного, неиспользуемого слоя воды в ней, высота его принимается порядка 0,40—0,60 *м*.

Необходимая площадь сбора атмосферной воды F *м*^{2} должна быть равна:

$$F = W_0 \frac{1\,000}{\mu h},$$

где h — слой осадков за время T наполнения цистерны, величина которого принимается по данным местной метеорологической станции;

μ — коэфициент стока.

При сборе воды с крыш μ принимают в расчетах примерно 0,7—0,5, для специально же устраиваемых водосборных площадок величина μ берется примерно от 0,40 до 0,20.

Если требуемая вместимость W_0 оказывается большой, устраивают несколько цистерн.

РАЗДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ
ОЧИСТКА И ОБРАБОТКА ВОДЫ

Глава XI
КАЧЕСТВО ВОДЫ ПРИРОДНЫХ ИСТОЧНИКОВ И НАЗНАЧЕНИЕ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

§ 79. Вводная часть

На очистные сооружения водопровода возлагается ответственная задача очистки воды, полученной из природных источников, т. е. улучшение ее качества в соответствии с требованиями потребителей. Так как воды отдельных природных источников обладают различными свойствами и требования, предъявляемые к качеству воды в зависимости от характера потребления, весьма разнородны, состав очистных сооружений и возлагаемые на них задачи также весьма разнообразны.

Для большинства потребителей как промышленных предприятий, так и населенных мест исключительно важно получение воды надлежащего качества.

От работы очистных сооружений городских водопроводов зависит в значительной степени состояние здоровья жителей, так как некоторые инфекционные заболевания (например брюшной тиф, дизентерия, холера) могут распространяться через воду. Поэтому вода, подаваемая в городской водопровод, должна на очистных сооружениях освобождаться от содержащихся в ней болезнетворных бактерий.

На промышленных предприятиях получение воды требуемого качества необходимо для рациональной постановки технологического процесса, сокращения затрат на топливо и энергию, увеличения срока службы отдельных устройств, сокращения брака, т. е. в конечном итоге для улучшения качества и удешевления продукции. Весьма высокие требования предъявляются, например, к воде для питания паровых котлов в современных котельных установках; в этой воде допускается лишь ничтожная жесткость, небольшая щелочность, незначительный сухой остаток и т. п.

Для изучения свойств воды природных источников производится анализ проб воды. Путем анализа выясняется наличие в воде различных веществ и микроорганизмов. Для получения истинной характеристики воды данного источника отбор проб и анализы должны производиться в течение достаточно длительного периода времени, чтобы можно было учесть изменения качества воды по временам года.

§ 80. Качество воды природных источников и требования, предъявляемые потребителями к качеству воды

Качество воды природных источников определяется наличием в ней различных посторонних веществ неорганического и органического происхождения и микроорганизмов.

Посторонние вещества могут содержаться в воде источника: а) в виде отдельных частиц (механические примеси, грубо дисперсные вещества), б) в коллоидальном состоянии, в) в растворенном состоянии.

В зависимости от требований, предъявляемых к качеству воды отдельными потребителями, вода природных источников может обладать недостатками, исключающими возможность ее использования без предварительной обработки. В некоторых случаях эти недостатки с точки зрения данной категории потребителей могут оказаться настолько велики и устранение их настолько сложно и дорого, что приходится отказываться от использования данного источника. Путем экономических сравнений может быть доказана целесообразность использования другого более отдаленного источника, воду которого легче и дешевле приспособить к требованиям потребителя.

Рассмотрим основные свойства воды природных источников, указывая попутно значение этих свойств для различных типов потребителей.

Мутность. Мутность воды обусловливается наличием в ней различного рода механических примесей, находящихся во взвешенном состоянии: частиц песка, глины, илистых частиц органического происхождения и т. п.

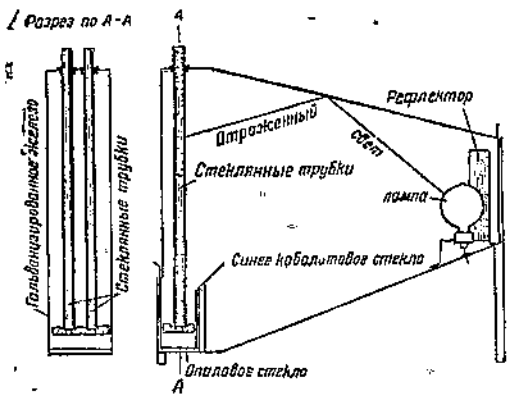


Рис. 421

Мутность является характерным свойством поверхностных источников водоснабжения и, главным образом, рек. В зависимости от характера грунта дна и берегов реки и от скорости течения воды происходит вымывание частиц грунта, увлекаемых водой. Чем больше скорость течения, тем больших размеров частицы могут увлекаться водой. Чем меньше размеры частиц грунта, тем большее их количество несет река. При наличии определенной скорости воды частицы эти поддерживаются во взвешенном состоянии и придают воде мутность.

Мутность воды природных источников может обусловливаться также и наличием веществ, находящихся в ней в коллоидальном состоянии. Так, например, присутствие в воде коллоидальных частиц глины, кремнезема делает воду молочно-мутной — опалесцирующей.

Для численного определения мутности применяются различные методы.

По одним методам мутность исследуемой воды измеряется в сравнении с водой, имеющей некоторую стандартную эталонную мутность.

Так, в США за эталон мутности принята мутность воды, содержащей 100 *мг/л* измельченного кремния. В замутненной таким образом воде платиновая игла длиной 8—10 *см* и диаметром 1 *мм* перестает быть видимой, будучи погружена в горизонтальном положении на глубину 10 *см*, при расположении глаза наблюдателя на 1,1 *м* над поверхностью воды. Мутность такой воды считается равной 100 *мг/л*.

Для определения мутности у нас в настоящее время начинают применяться мутномеры Бейлиса (рис. 421). Определение мутности прибором Бейлиса производится путем пропускания синего света снизу вверх через стеклянные цилиндры (трубки) высотой 750 *мм* и диаметром 28—30 *мм* при одновременном боковом освещении их белым светом (от электрической лампы 250—300 *вт*). Для определения мутно-

сти один из цилиндров до краев наполняют испытуемой водой, дают выделиться из воды пузырькам воздуха (на что требуется 5—10 мин.) и сравнивают с другим цилиндром, наполненным дестиллированной водой или водой определенной мутности.

При просвечивании цилиндра с дестиллированной водой (мутность которой равна нулю) ясно виден синий свет, проникающий через дно цилиндра. При мутности 2 *мг/л* синего света почти не видно.

При определении мутности по Бейлису используют шаблоны незначительной мутности — до 2 *мг/л*. Если мутность воды выше 2 *мг/л* (приблизительно до 6 *мг/л*), испытуемую воду разбавляют дестиллированной водой вдвое, вчетверо и т. п. и разбавленные (в определенное число раз) образцы сравнивают с шаблоном.

По другому методу измеряется не мутность, а прозрачность. Так как мутность по существу есть недостаточная прозрачность, измерение прозрачности будет косвенно характеризовать и мутность. Мутность является понятием обратным прозрачности. Между численным выражением мутности и численным выражением прозрачности существует некоторая зависимость. При измерении прозрачности определяют толщину слоя воды, через которую остается видимым стандартный шрифт (шрифт Снеллена № 1) или какой-либо знак, нанесенный черной краской на белой пластинке. Например, две крестообразно расположенные линии толщиной 1 *мм* с четырьмя точками в углах диаметром также 1 *мм*.

Толщина слоя исследуемой воды, через которую еще может быть прочитан шрифт или виден «крест», дает число, характеризующее прозрачность данной воды в *см*. Измерение прозрачности воды производится в стеклянном цилиндре или трубке высотой 30 *см* с сантиметровой шкалой.

Инструкцией НККХ[1] по исследованиям воды рекомендуется при большом содержании взвешенных веществ (более 2 *мг/л*) определять прозрачность воды (по «кресту»), при содержании же взвешенных веществ менее 2 *мг/л* определять мутность воды по мутномеру Бейлиса. Это объясняется тем, что при малом содержании взвешенных веществ измерение прозрачности практически затрудняется из-за необходимости применять слишком длинные стеклянные цилиндры.

Мутность речной воды меняется в течение года, возрастая в период дождей и доходя до максимума в период весенних паводков. Наименьшая мутность (наибольшая прозрачность) речной воды наблюдается в зимнее время, когда река покрыта льдом. В озерах и искусственных водохранилищах со стоячей водой мутность, как правило, весьма незначительна и обусловливается поступлением мутной воды из рек, питающих данные водоемы, а также стекающих с берегов атмосферных осадков. В больших водоемах замутнение воды у берегов может происходить в результате взмучивания осадков со дна, в ветреную погоду.

Мутность некоторых рек достигает весьма значительной величины. В СССР особенной мутностью отличаются реки южной части СССР и, в частности, среднеазиатских республик, так, например: количество взвешенных веществ, которые несет вода р. Аму-Дарья, достигает 6 500 *мг/л*.

Реки средней и северной части СССР и многие реки Сибири имеют значительно меньшую мутность. Особенной прозрачностью отличается, например, вода р. Ангары. Воды подземных источников в большинстве случаев обладают большой прозрачностью.

---

[1] Временный стандарт качества водопроводной воды и инструкция по исследованиям воды. СТ НККХ РСФСР и НКЗ РСФСР № 21 1941 г. (именуемый нами в дальнейшем СТ 21)

Использование мутной воды, в зависимости от категории водопотребителей недопустимо или нежелательно.

Для воды, употребляемой на хозяйственно-питьевые нужды, санитарными нормами устанавливается предел допустимого содержания взвешенных веществ, характеризующийся определенной величиной мутности. Так, СТ 21 установлены для городов РСФСР (кроме Москвы) с учетом сезонных колебаний следующие пределы мутности воды, подаваемой в городскую водопроводную сеть: не более 1,0 *мг/л* в среднем за год; не выше 1,25 *мг/л* в среднем за отдельные месяцы; не выше 1,5 *мг/л* для отдельных определений.

В связи с особыми условиями водоснабжения столицы для Москвы стандартом установлен предел мутности в 0,2 *мг/л*.

Для некоторых категорий производств использование мутной воды для промышленных целей также нежелательно, а иногда и недопустимо. Однако, значительная часть таких потребителей может использовать воду со значительно большим содержанием взвешенных веществ, чем это допускается для питьевой воды. Например, в воде, идущей на питание паровозных котлов, согласно «Техническим условиям проектирования железных дорог нормальной колеи» допускается временное содержание механических примесей не более 200 *мг/л* — для мощных паровозов (ФД и ИС) и не более 300 *мг/л* — для других паровозов.

Содержащиеся в воде коллоидальные вещества вызывают вспенивание котловой воды и затрудняют процесс парообразования. В котлах высокого давления использование мутной воды не допускается.

Использование воды, содержащей механические примеси, для охладительных целей влечет за собой быстрое засорение охлаждающей аппаратуры. Допустимое содержание взвеси в охлаждающей воде может быть установлено в зависимости от типа охлаждающей аппаратуры и практически колеблется в довольно широких пределах.

Цветность. Желтоватый, коричневатый или желто-зеленый оттенок, которым обладает иногда вода природных источников, объясняется, главным образом, присутствием в воде гуминовых веществ.

Цветность наблюдается в водах рек, питающихся частично болотной водой, а также в водах озер и водохранилищ. Цветность измеряется в градусах по платино-кобальтовой шкале путем сравнения исследуемой воды с эталонами цветности. Последние приготовляются на дестиллированной воде, в которой растворяется хлорплатинат калия и шестиводный хлористый кобальт. Цветность раствора, содержащего в 1 *л* воды 500 *мг* хлорплатината и 250 *мг* кобальта, принимается за 500°. Разбавляя этот раствор в известное число раз, получают ряд эталонов цветности (обычно через каждые 5°) и с ними сравнивают исследуемую воду.

Цветность является недостатком для воды, используемой на хозяйственно-питьевые нужды. Согласно «Временному стандарту качества воды» для воды, подаваемой в сеть городских водопроводов, может быть допущена цветность: не более 20° в среднем за год; не более 25° в среднем за отдельные месяцы и не более 30° для отдельных определений.

Для природных вод, имеющих относительно небольшую цветность (не более 50° в среднем за год), указанные требования к очищаемой воде снижаются соответственно до 15, 20 и 25°.

Для питания паровых котлов вода с цветностью более 50° нежелательна, так как цветность характеризует наличие в воде гуминовых кислот, способствующих коррозии стенок котла.

Использование воды со значительной цветностью в производствах, в которых происходит непосредственное соприкосновение воды с фаб-

рикатами, может вызвать ухудшение качества продукции (например, в текстильной или пищевой промышленности).

При использовании воды для охладительных целей цветность ее не имеет значения.

Запах и привкусы в воде. Наличие запахов и привкусов в воде природных источников обусловливается присутствием в ней растворенных газов, различных минеральных солей, а также органических веществ и микроорганизмов. Запахом и привкусом обладают воды, содержащие примесь болотных и торфяных вод, воды, содержащие сероводород; в ряде случаев запах обусловливается присутствием живых или гнющих после отмирания водорослей.

Сильно минерализованные воды подземных источников имеют часто привкус солоноватый, горько-солоноватый. Наличие значительных количеств остаточного хлора в воде после ее хлорирования придает ей неприятный запах. При содержании в воде фенола даже столь малые количества хлора, как тысячные доли *мг/л*, в результате образования хлорфенола придают воде крайне неприятный лекарственный запах, делающей воду непригодной для питья.

Для количественной оценки запаха и привкуса воды применяется условная шкала, которая, однако, в значительной степени основана на индивидуальной восприимчивости исследователя.

Так, например, запах определяется по следующей шкале (табл. 32).

Таблица 32

Баллы	Запах	Определения
0	Нет	Отсутствие ощутимого запаха
1	Очень слабый	Запах, не ощущаемый потребителем, но обнаруживаемый в лаборатории опытным исследователем
2	Слабый	Запах, обнаруживаемый потребителем, если обратить его внимание, но сам по себе не привлекающий внимания
3	Заметный	Запах, легко обнаруживаемый и дающий повод считать воду подозрительной
4	Отчетливый	Запах, обращающий на себя внимание и делающий воду невкусной
5	Очень сильный	Запах, настолько сильный, что вода совершенно непригодна для питья

Сила запаха воды меняется с ее температурой. Интенсивность привкуса оценивается по подобной же условной пятибалльной системе. Качественная характеристика привкуса дается словами — горький, солоноватый и т. д.

Вода, употребляемая для хозяйственно-питьевых целей, не должна иметь запаха и привкусов, ощутимых для потребителя.

Для большинства потребителей промышленного назначения запах и вкус воды сами по себе несущественны. Однако наличие их может указывать на присутствие в воде нежелательных примесей.

Жесткость воды. Жесткость воды обусловливается содержанием в ней солей кальция и магния. Жесткость обычно измеряется в немецких градусах; один немецкий градус жесткости соответствует содержанию в 1 *л* воды 10 *мг* окиси кальция (CaO) или 7,19 *мг* окиси магния (MgO). Различают временную или карбонатную жесткость, при которой соли кальция и магния находятся в воде в виде бикарбонатов $Ca(HCO_3)_2$ и $Mg(HCO_3)_2$, и постоянную или некарбонатную, при которой в воде содержатся другие соли кальция (кроме углекислых): сернокислые, кремнекислые и пр. Карбонатная жесткость называется вре-

менной или устранимой, так как она исчезает при кипячении воды, во время которого происходит выпадение из нее солей временной жесткости.

Постоянная жесткость кипячением при атмосферном давлении устранена быть не может. Выделение солей постоянной жесткости может происходить при перегреве воды, например, в паровых котлах, где испарение происходит при повышенном против атмосферного давлении и, следовательно, при температуре выше 100°. Обычно в жесткой воде содержатся одновременно соли постоянной и временной жесткости.

Суммарная жесткость воды называется общей жесткостью. Вода разных природных источников имеет весьма различную жесткость. Речная вода, за некоторым исключением, обладает относительно небольшой жесткостью. Так р. Волга (у г. Куйбышева) имеет жесткость 13—15°; жесткость Москва-реки колеблется в течение года от 5 до 15°. Используемые для водоснабжения Лондона воды р. Темзы имеют жесткость около 13,5° и реки Сены (для водоснабжения Парижа) — жесткость около 11°. В качестве примера реки с весьма малой жесткостью воды может быть приведена р. Нева (жесткость около 2°). Воды рек, прорезывающих толщу известковых и гипсовых пород, часто отличаются весьма большой жесткостью, например, воды р. Волчья (Донбасс) — жесткость до 44°, р. Теши (у г. Арзамас) — до 50°. Вода соленых озер имеет весьма большую жесткость. Так, вода Каспийского моря имеет общую жесткость 214°, причем карбонатная жесткость составляет всего около 10°. Вода подземных источников в большинстве случаев обладает значительной жесткостью.

Во многих случаях воды подземных источников, используемых для хозяйственно-питьевых водопроводов, имеют жесткость до 30—40°, а в ряде случаев и до 50—70°.

Для хозяйственно-питьевого водоснабжения использование относительно жестких вод допустимо, так как наличие солей жесткости не вредно для здоровья и обычно не ухудшает вкусовых свойств воды. Лишь очень значительное содержание солей магния придает питьевой воде неприятный привкус. По нормам Наркомздрава СССР содержание окиси магния в питьевой воде не должно превышать 150 *мг/л*.

Однако использование воды с большой жесткостью для хозяйственно-питьевых целей вызывает ряд неудобств: образуется накипь на стенках варочных котлов, кипятильников, увеличивается расход мыла при стирке и мытье, медленно развариваются мясо и овощи и т. д.

Отрицательные свойства жесткой воды привели к созданию различных норм качества воды для городских водопроводов, в которых устанавливается допустимый предел жесткости.

Согласно «Инструкции по санитарной оценке качества воды» Наркомздрава СССР (1938 г.) допускается использование без умягчения для городских водопроводов воды с жесткостью не выше 40°. Однако для бань и прачечных рекомендуется устройство местных умягчительных установок уже при жесткости более 30°. В американских городских водопроводах считается экономически целесообразным умягчать воду при жесткости, начиная с 7—8° (которая снижается примерно до 4°).

Временный стандарт качества питьевой воды 1940 г. не делает каких-либо ограничений для городских водопроводов в отношении жесткости подаваемой ими воды. Однако с точки зрения экономики городского хозяйства при проектировании водоснабжения необходимо учитывать отрицательные стороны использования жесткой воды. Использование жесткой воды для производственно-технических целей во многих случаях не может быть допущено, так как связано с рядом нежелательных последствий.

Например, применение жесткой воды для питания паровых котлов вызывает образование накипи на их стенках. Наличие накипи вследствие малой ее теплопроводности вызывает повышение расхода топлива.

Кроме того, при наличии накипи может произойти недопустимый перегрев стенок котла (не омываемых уже непосредственно водой), ведущий к понижению прочности металла и выпучиванию стенок, а в ряде случаев и к аварии.

При использовании жесткой воды необходима частая очистка котлов от накипи, что при некоторых системах котлов (водотрубных) весьма затруднительно и дорого.

Образование накипи в паровых котлах обусловливается как временной, так и постоянной жесткостью, поэтому общая жесткость воды для питания котлов допустима лишь в установленных пределах. Так, нормы «Главэнергостроя»[1] дают пределы жесткости, приведенные в табл. 33.

Таблица 33

№ п/п	Род котлов	Допустимая жесткость в немецких градусах	
		нормальная	кратковременная
1	Барабанные котлы с естественной циркуляцией при давлении до 35 *ат*	0,15	0,2
2	То же при давлении до 110 *ат*	0,10	0,15
3	Прямоточные котлы с давлением до 110 *ат*	0,05	0,15

Для котлов низкого и среднего давления (до 15 *ат*) жесткость питательной воды не должна превышать 1—4° нем. (в зависимости от системы котла).

Использование в охладительных устройствах воды, имеющей значительную временную жесткость, ведет к отложению солей жесткости на стенках труб охлаждающей аппаратуры.

Выпадение солей временной жесткости в известной степени происходит и при нормальных температурах вследствие потери углекислоты; в результате этого имеет место постоянное зарастание труб водопроводной сети, или так называемая инкрустация стенок труб. В некоторых случаях это зарастание в течение нескольких лет эксплоатации водопровода может привести к резкому уменьшению живого сечения трубы.

В некоторых отраслях промышленности (текстильная, целлюлозная и др.) употребление жестких вод ухудшает качество продукции и увеличивает процент брака; в кожевенной промышленности применение жестких вод вызывает увеличение расхода дубителей и, следовательно, удорожание выпускаемой продукции.

Содержание газов. В воде природных источников наблюдается чаще всего содержание следующих газов: кислорода (O_2), углекислоты (CO_2) и сероводорода (H_2S).

Содержание кислорода и углекислоты даже в значительных количествах не ухудшает качества питьевой воды, но способствует коррозии металлических стенок труб, резервуаров, котлов.

Коррозией металла называется разъедание его вследствие различных химических и электрохимических процессов. Наличие в воде рас-

[1] Главэнергострой, «Нормы качества питательной и котловой воды и пара», 1940.

творенного кислорода является фактором, наиболее активно способствующим коррозии соприкасающихся с водой металлических поверхностей. Находящаяся в воде свободная углекислота усиливает корродирующее действие кислорода и непосредственно способствует коррозии металла, особенно при содержании в воде хлористого натрия. Процесс коррозии усиливается при содержании в воде растворенных солей, особенно хлористых. Коррозии способствует также высокая концентрация водородных ионов, т. е. процессы коррозии идут интенсивнее при кислой реакции воды.

Процесс коррозии усиливается с повышением температуры воды, а также при движении воды вдоль ограничивающих ее металлических стенок (движение воды по трубам, циркуляция).

Коррозии подвергаются также бетонные стенки труб и резервуаров при значительном содержании в воде агрессивной углекислоты.

Излишнее количество кислорода и углекислоты в воде, идущей для питания паровых котлов, недопустимо, так как в условиях высоких температур процессы коррозии будут особенно интенсивны. В питательной воде паровых котлов допускается содержание кислорода и углекислоты в количествах не более указанных в табл. 34.

Таблица 34

При рабочем давлении в *ат*	Кислорода в *мг/л*	Углекислоты в *мг/л*
От 1 до 15	0,5	20
„ 15 „ 25	0,1	10
„ 20 „ 100	0,05	10

Содержание сероводорода H_2S придает неприятный запах воде и, кроме того, вызывает коррозию металлических стенок, труб, баков и котлов. Поэтому содержание H_2S не допускается в воде, употребляемой для хозяйственно-питьевых и для промышленных целей.

Содержание солей железа и марганца. Железо довольно часто встречается в воде подземных источников в виде бикарбонатов, а также солей серной и гуминовой кислот. Содержание железа в воде, употребляемой для хозяйственно-питьевых целей, может быть допущено лишь в очень небольших дозах. Некоторыми нормами содержание железа в воде коммунальных водопроводов допускается до 0,1—0,3 *мг/л*.

Однако наличие железа в водопроводной воде придает ей плохой вкус, вызывает отложение осадка и зарастание водопроводных труб. При использовании такой воды для стирки белья на нем остаются пятна.

На многих промышленных предприятиях, где вода употребляется для промывки фабриката в период изготовления, а также в текстильной промышленности, употребление воды, содержащей железо, ведет к браку продукции и не может быть допущено.

Азотистые соединения. Наличие азотистых соединений — азотной (N_2O_5) и азотистой (N_2O_3) кислот и аммиака (NH_3) в водах поверхностных источников или подземных водах, не защищенных от загрязнения поверхностными стоками, обычно указывает на загрязнение этих вод канализационными водами; при этом наличие аммиака указывает на свежее загрязнение, а наличие азотистой кислоты — на недавнее загрязнение. В связи с этим в воде, подаваемой для хозяйственно-питьевых целей, не допускается присутствие аммиака и азотистой кислоты. Содержание аммиака недопустимо и для воды, идущей на питание паровых котлов.

Содержащаяся в воде азотная кислота при отсутствии N_2O_3 и NH_3 в небольшом количестве (до 20—30 *мг/л*) не является показателем загрязнения воды.

Сульфаты. Сульфаты представляют собой соединения серной кислоты с кальцием и магнием, образующие соли некарбонатной (постоянной) жесткости, а в соединении с натрием дающие глауберову соль (Na_2SO_4), которая в больших дозах вредна для желудка.

В воде, используемой для питьевых целей, по нормам Наркомздрава содержание сульфатов (SO_3) не должно превышать 500 *мг/л*.

Сухой остаток. Общее количество минеральных и органических веществ, содержащихся в воде, характеризуется «сухим остатком», получаемым в результате выпаривания воды. Потеря веса при прокаливании сухого остатка показывает количество органических веществ, входящих в его состав. В воде, идущей для питьевых целей, сухой остаток не должен превышать 500 *мг/л*.

Окисляемость. Окисляемость воды измеряется количеством кислорода в *мг/л*, которое необходимо для окисления содержащихся в воде органических веществ. Высокая окисляемость вод, не содержащих гуминовых веществ или железа, указывает на вероятность загрязнения источника сточными водами и, следовательно, на их непригодность для питьевых целей.

Окисляемость питьевой воды не должна превышать 3—5 *мг/л* O_2. Для питания паровых котлов не следует использовать воду, имеющую окисляемость более 5 *мг/л*, так как значительное содержание органических веществ в питьевой воде вызывает ее вспенивание в котлах и способствует коррозии стенок котла.

Реакция воды. Кислая, щелочная или нейтральная реакция воды обусловливается концентрацией в ней водородных (pH) и гидроксильных (pOH) ионов. При нейтральной реакции концентрация тех и других ионов одинакова ($pH = pOH = 7$). При кислой реакции $pH < 7$. При щелочной реакции $pH > 7$.

Для воды большинства природных источников водородный показатель (pH) имеет значение в пределах 7—8.

Характер реакции воды источника необходимо знать для правильной оценки качества воды и выбора методов ее очистки.

Бактериальная загрязненность воды. Общая бактериальная загрязненность вод природных источников характеризуется числом бактерий в 1 *см*^{3} воды. Согласно «Временному стандарту качества воды» количество бактерий в 1 *см*^{3} воды, подаваемой в сеть городских водопроводов, не должно превышать 100 (для московского водопровода не более 20).

Кроме общего числа бактерий, обычно определяется содержание в воде кишечной палочки (палочки Коли).

Наличие кишечной палочки свидетельствует о загрязнении воды фекальными стоками и, следовательно, о возможности попадания в нее болезнетворных бактерий, в частности, бактерий брюшного тифа. Путем бактериологического анализа воды определяется так называемый «титр-коли» (коли-титр), т. е. тот наименьший объем воды, в котором при анализе еще обнаруживается кишечная палочка. Титр-коли выражается в *см*^{3}. В настоящее время по образцу американской практики вводится коли-индекс (коли-тест), т. е. число кишечных палочек, обнаруженное в 1 *л* воды. Таким образом коли-титр $= \frac{1\,000}{\text{коли-тест}}$ и обратно: коли-тест $= \frac{1\,000}{\text{коли титр}}$.

Воды некоторых поверхностных источников бывают весьма загрязнены в бактериальном отношении.

Согласно требованиям «Временного стандарта» вода, подаваемая в сеть хозяйственно-питьевых водопроводов, должна иметь менее 3 бактерий коли на 1 *л* воды (коли-тест 3) или соответственно коли-титр 300 *см*³ (для Москвы — коли-тест — не более 2, коли-титр — 500 *см*³). Наличие кишечной палочки в воде, используемой для большинства промышленных предприятий, не оказывает влияния на выпускаемую продукцию. Исключение составляют те отрасли пищевой промышленности, для которых требуется вода питьевого качества.

Однако присутствие в воде значительного количества различных микроорганизмов, а также водорослей может повлечь зарастание сеток водоприемных сооружений, трубок охлаждающих устройств, конденсаторов, аппаратуры и поэтому вредно отзывается на работе промышленных водопроводов.

После ознакомления со свойствами воды природных источников приведем общую краткую характеристику основных категорий этих источников и сопоставим ее с требованиями, предъявляемыми к качеству воды основными категориями потребителей.

Поверхностные источники характеризуются большими колебаниями состава воды и характера загрязнения в отдельные периоды года. Качество воды рек и озер в большой степени зависит от интенсивности атмосферных осадков, таяния снегов, а также загрязнения поверхностными стоками и сточными водами городов и промышленных предприятий.

Речная вода обычно характеризуется значительным содержанием взвешенных веществ, т. е. мутностью, часто цветностью, малым содержанием минеральных солей, нередко малой жесткостью, наличием большого количества органических веществ, высокой окисляемостью и значительным содержанием бактерий.

Характерной особенностью речной воды является способность к самоочищению. Эта способность выражается в том, что в результате ряда естественных биохимических процессов, протекающих в речной воде, загрязнение от поступивших в нее стоков постепенно ликвидируется.

Воды подземных источников, особенно глубокозалегающие артезианские воды, характеризуются большой прозрачностью, отсутствием цветности, богатым содержанием различных минеральных солей, часто большой жесткостью и иногда наличием железа, марганца и т. д. Санитарное состояние подземных вод, если они защищены водонепроницаемым слоем от проникания зараженных стоков с поверхности земли, бывает иногда настолько хорошо, что эти воды можно без какой-либо очистки подавать в сеть питьевых водопроводов.

Морская вода отличается весьма высоким содержанием солей. Общая жесткость ее достигает 640°; при этом только около 40° нем. приходится на долю карбонатной жесткости. Морская вода обладает сильными корродирующими свойствами.

Путем сопоставления качества воды природных источников, которые могут быть использованы для водоснабжения данного объекта, с требованиями, предъявляемыми к качеству воды потребителями, можно выбрать: 1) источник, вода которого в наибольшей степени соответствует требованиям потребителей, 2) тип очистных сооружений, обеспечивающих надлежащее улучшение качеств природной воды.

§ 81. Основные процессы очистки воды

Улучшение качества воды природных источников в современной практике водопроводного дела производится на специальных сооружениях, технологический процесс которых определяется предъявляемыми к воде требованиями. Так, при очистке речной воды, используемой для

хозяйственно-питьевых целей, применяются: 1) осветление воды (достигаемое посредством ее процеживания, отстаивания и фильтрации), 2) обеззараживание воды (ее дезинфекция).

Путем осветления вода освобождается от взвешенных веществ, обусловливающих ее мутность. При этом в зависимости от назначения воды устанавливается степень осветления. Для некоторых производств, не требующих вполне прозрачной воды, может оказаться достаточным освобождение ее от наиболее крупных взвешенных, а также плавающих предметов и частиц, могущих попасть в водопровод. В этих случаях применяется грубая механическая очистка воды — процеживание, большей частью осуществляемое непосредственно в водоприемных сооружениях, где для этой цели устанавливаются решетки и сита (см. раздел III).

Для удаления из воды более мелких взвешенных частиц производится ее отстаивание. Осаждение взвешенных частиц может быть достигнуто путем простого механического отстаивания, при котором очищаемая вода проходит через специальные бассейны (отстойники) с весьма малой скоростью.

Время осаждения взвешенных частиц зависит от их размеров. Чем мельче частицы, тем больше времени требуется для их осаждения. При этом частицы коллоидальные могут находиться во взвешенном состоянии неопределенно долгое время. Для ускорения процесса осаждения взвеси производится укрупнение коллоидальных частиц путем коагулирования. В воду, подлежащую осветлению, вводится химический реагент — коагулянт, который образует коллоидальное вещество, быстро коагулирующееся, т. е. образующее хлопья. Хлопья выпадают в осадок, увлекая за собой частицы взвеси и коллоидальные вещества, содержащиеся в природной воде. Отстаивание воды с применением коагулирования чрезвычайно ускоряет процесс ее осветления и имеет широкое распространение в водопроводной практике.

Для осветления воды служит также фильтрование, т. е. пропуск очищаемой воды через слой фильтрующего материала. Процессы отстаивания и фильтрования каждый в отдельности могут дать определенный эффект осветления воды, однако, практически они часто применяются оба в последовательном порядке. Такая комбинация позволяет в ряде случаев получить большой эффект очистки. В процессе осветления воды указанными методами одновременно достигается иногда и некоторое уменьшение ее цветности.

Отстаивание и фильтрация входят также в общий комплекс процессов для освобождения воды от содержания минеральных солей (при умягчении, обезжелезивании и т. д.).

Попутно с осветлением вода при отстаивании и фильтровании в значительной степени освобождается от бактерий, задерживаемых в отстойнике при коагулировании и в фильтре, т. е. повышается качество воды и с санитарной точки зрения.

Специальным процессом для оздоровления воды путем уничтожения бактерий, в частности, болезнетворных, является дезинфекция воды, осуществляемая обычно путем ее хлорирования. Дезинфекция воды может применяться и как самостоятельная мера улучшения качества воды. Например, прозрачная вода неглубоко залегающих подземных вод может не нуждаться в осветлении, но нуждается в дезинфекции ввиду возможности попадания в нее болезнетворных бактерий (с просачивающимися поверхностными стоками).

В постоянных водопроводах населенных мест, основанных на речной воде, дезинфекция является дополнительной мерой очистки воды. Процессы осветления и дезинфекции применяются в этом случае последовательно.

В процессе очистки воды применяется в ряде случаев ее аэрация, при которой вода обогащается кислородом воздуха. Это имеет место при обезжелезивании, при уничтожении запахов в воде, при удалении из воды растворенных в ней газов и т. д.

Кроме перечисленных приемов, для улучшения качества воды применяются различные химические процессы, требующие введения в воду химических реагентов (умягчение), пропуск воды через слои химически активных веществ (умягчение, дегазация).

Существует много различных комбинаций процессов улучшения качества воды, применяемых в очистных станциях современных городских и промышленных водопроводов. Ниже детально рассматриваются различные процессы очистки, типы сооружений для их осуществления и схемы очистных станций.

Глава XII

ОСВЕТЛЕНИЕ ВОДЫ

§ 82. Законы осаждения взвеси

Частицы мути поддерживаются во взвешенном состоянии в водах естественных источников благодаря известной скорости движения этих вод. Если вода находится в состоянии покоя или весьма медленного движения, взвешенные частицы начинают оседать из воды.

Скорость оседания частиц зависит от их размеров, формы, удельного веса, температуры воды и т. д. Скорость оседания каждой отдельной частицы можно принять постоянной во все время ее оседания (если она в процессе осаждения не укрупняется), так как ускорение силы тяжести уравновешивается сопротивлением среды. Для определения скорости осаждения шарообразных частиц диаметром не более 1,0 *мм* Стоксом дана следующая формула:

$$v = \frac{1}{18} g \frac{\delta - \gamma}{\mu} d^2,$$

где δ — удельный вес материала частицы; γ — удельный вес воды; d — диаметр шарообразной частицы; μ — коэфициент абсолютной вязкости воды; g — ускорение силы тяжести.

Таким образом для однородных шарообразных частиц скорость осаждения пропорциональна квадрату их диаметра.

При изменении температуры меняются плотность воды и коэфициент вязкости (увеличивается с уменьшением температуры). Поэтому скорость осаждения больше в теплой воде и меньше в холодной. В холодной воде, обладающей большой плотностью, осаждение взвеси идет замедленно.

В табл. 35 приводятся данные, характеризующие время осаждения и скорости осаждения шарообразных частиц различной крупности в предположении, что материал частиц имеет удельный вес 2,65 (вес кварца) и температура воды 10° (чему соответствует $\mu = 0{,}0131$).

Ввиду того что взвешенные частицы, содержащиеся в воде природных источников, различны по величине, по форме и по составу (а следовательно, и по весу), не представляется возможным установить теоретически скорость их выпадения в зависимости от всех указанных факторов. При отстаивании коагулированной воды осаждать из нее приходится хлопьевидные частицы коагулянта, увлекающие с собой частицы естественной мути. Закон осаждения таких хлопьев также сильно отличается от закона осаждения однородных шарообразных частиц.

Таблица 35

Теоретический диаметр в *мм*	Тип частиц	Скорость осаждения в *мм/сек*[1]	Время, необходимое для осаждения на 0,3 *м*
10	Гравий	1000	0,3 сек.
1	Крупный песок	100	3,0 »
0.1	Мелкий песок	8	38,0 »
0,01	Ил, глина	0,154	33 мин.
0,001	Бактерии	0,00154	55 час.
0,0001	Самые легкие частицы глины	0,0000154	230 дней
0,00001	Коллоидальные частицы	0,000000154	63 года

[1] В разделе ковшей скорость выпадения частиц, выраженная в *мм/сек*, называется гидравлической величиной (крупностью) частиц.

В силу этих соображений практически закон осаждения взвеси для различных природных вод устанавливается эмпирическим путем. Исследуемой мутной водой наполняют ряд сосудов одинакового объема и формы и дают воде отстояться, заранее определив количество осадка в воде до отстаивания. Через определенные промежутки времени после начала отстаивания производят последовательно отбор воды из верхней части сосудов на некоторую глубину и определяют количество осадка в этих объемах (например через 1 час — из первого сосуда, через 2 часа — из второго и т. д.). Вычитая полученные количества осадка, содержавшегося в воде до начала отстаивания, получают количество взвеси, осевшей за соответствующий замеренный промежуток времени.

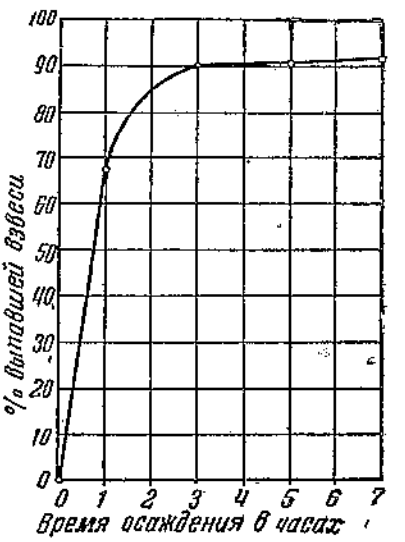


Рис. 422

Результаты исследования изображают в виде кривой, откладывая по оси абсцисс время осаждения, а по оси ординат — соответствующее количество выпавшей взвеси в процентах от общего содержания взвеси в исследуемой воде. Эта кривая (рис. 422) называется «кривая выпадения взвеси» и дает весьма наглядное представление о процессе осветления воды.

Степень наклона участков этой кривой к оси абсцисс характеризует интенсивность выпадения взвеси.

Обычно кривые выпадения взвеси для воды природных источников обращены выпуклой частью к оси ординат. Это показывает, что процесс осаждения идет замедленно и объясняется неоднородным составом взвеси. Более крупные частицы выпадают быстрее и оседают в начале процесса осаждения. Чем более вытянута кривая выпадения, тем более неоднороден состав взвеси. При помощи этих кривых определяется характер выпадения взвеси как воды, взятой из природных источников, так и воды коагулированной. На рис. 423 дан пример кривой выпадения взвеси (глины) в воде после коагулирования. Начальный

участок этой кривой имеет относительно небольшой уклон, что соответствует периоду образования хлопьев.

В последнее время для измерения количества выпавшей взвеси предложен прибор, так называемый «интегратор взвеси» (рис. 424). Он состоит из вертикального цилиндра *а*, в который наливается исследуемая вода. На определенной глубине в цилиндре расположена чашечка *б*, подвешенная на нити *в* к поплавку *г*. Поплавок снабжен вертикальным указателем *ж*. Взвешенные частицы, выпадая, осаждаются также и в чашечку *б*, которая вследствие увеличения ее веса постепенно опускается, увлекая за собой поплавок с указателем *ж*, скользящий вдоль шкалы с делениями *е*.

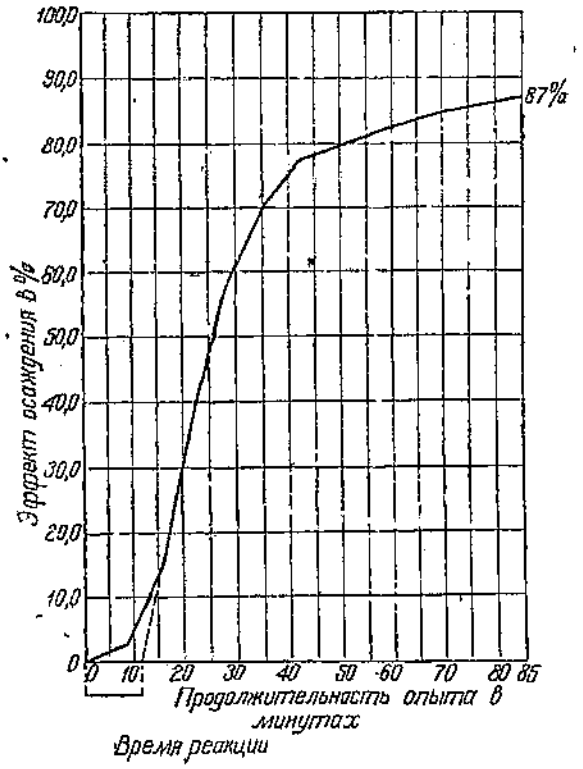


Рис. 423

Таким образом, наблюдая через определенные промежутки времени за показаниями указателя, пропорциональными количеству осевшей за данный промежуток взвеси, мы получаем непосредственно данные для построения кривой выпадения взвеси. Замеряют величину предельного опускания чашечки (соответствующего полному осаждению взвеси) и остальные промежуточные показатели выражают в процентах от этого полного количества выпавшей взвеси, принятой за 100%.

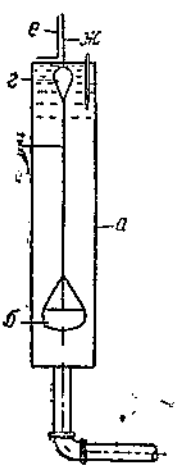


Рис. 424

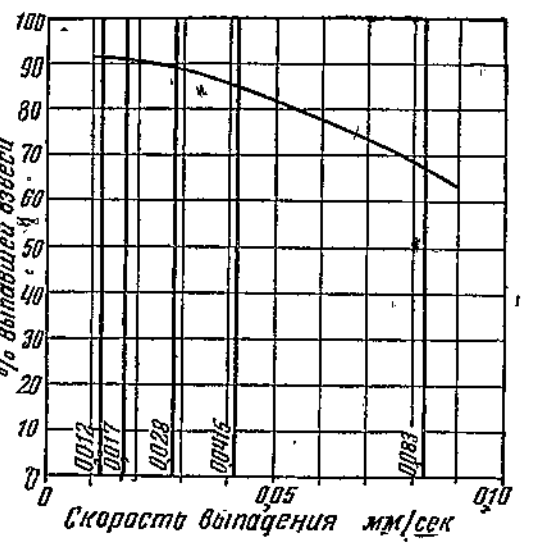


Рис. 425

Пользуясь кривыми выпадения взвеси, можно установить зависимость между процентом выпадения взвеси и соответствующей ему средней скоростью выпадения.

Например, для кривой рис. 422 исследование проводилось при высоте слоя воды в 300 *мм*. Следовательно, в течение первого часа отстаивания средняя скорость выпадения была $\frac{300}{3\,600} = 0{,}083$ *мм/сек*, этому соответствует 67,5% выпавшей взвеси; в течение первых двух часов $\frac{300}{2 \cdot 3\,600} = 0{,}0415$ *мм/сек* (85% выпавшей взвеси); в течение трех часов — $\frac{300}{3 \cdot 3600} = 0{,}028$ *мм/сек* (89% выпавшей взвеси) и т. п.

Сопоставляя полученные значения средней скорости выпадения с соответствующим за взятые промежутки времени количеством осадка, можно построить кривую (рис. 425), дающую зависимость между средней скоростью выпадения осевших частиц и процентом удаленной взвеси.

Подобные кривые имеют то преимущество, что они не связаны уже с определенной высотой слоя воды, при котором проводилось исследование.

§ 83. Осаждение взвеси путем отстаивания воды

Кривые, характеризующие процесс осаждения взвеси, полученные при исследовании природной воды в различное время года, дают полное представление о характере взвеси и времени, требующемся для ее осаждения.

Отстаивание может быть простым или с предварительным коагулированием воды; кроме того, могут иметь место комбинации простого отстаивания и отстаивания с коагулированием. Для промышленных предприятий, потребляющих воду для целей охлаждения, бывает достаточным удалить из воды лишь наиболее крупные взвешенные частицы, устраняемые простым отстаиванием.

Для хозяйственно-питьевого потребления и для некоторых производств требуется высокая степень осветления воды с удалением из нее мельчайших частиц взвеси, включая коллоидальные. В этом случае применяют отстаивание с коагулированием, что ускоряет процесс осаждения и уменьшает размеры отстойных бассейнов. В некоторых случаях коагулирование оказывается целесообразным проводить лишь в периоды максимальной мутности воды, совпадающие обычно с паводками, ограничиваясь в остальное время года простым отстаиванием. Для достижения наибольшего осветления окончательное выделение взвеси производят обычно путем фильтрования воды, прошедшей отстойники.

Таким образом работа по осаждению взвеси разделяется между отстойниками и фильтрами. Количество взвеси, задерживаемое отстойниками и фильтрами, в процентах от общего ее количества, колеблется весьма сильно в зависимости от характера взвеси.

При неоднородной взвеси бывает выгодно последовательное применение простого отстаивания и отстаивания с коагулированием. Такая комбинация уменьшает расход коагулянта, удешевляя эксплоатацию очистных сооружений. В некоторых случаях предварительное простое отстаивание крупной взвеси применяется лишь в периоды максимальной мутности воды источника.

Применение одного фильтрования воды без предварительного отстаивания может оказаться целесообразным, если вода источника содержит незначительное количество взвешенных веществ и частицы взвеси весьма малы. При большой мутности воды будет происходить быстрое заиливание фильтров, и расходы по их промывке будут велики.

Отстаивание может быть осуществлено путем придания осветляемой воде покоя или движения с весьма малой скоростью. В первом случае отстаивание называется периодическим, так как отстойные резервуары должны периодически наполняться водой и опорожняться через промежутки времени, достаточные для осаждения взвеси.

Такой процесс практически неудобен. В силу этого в современной практике применяется исключительно непрерывное отстаивание, при котором вода движется непрерывно с весьма малой скоростью через отстойные бассейны. Поэтому ниже рассматриваются только отстойные бассейны непрерывного действия.

Отстойные бассейны или отстойники бывают двух основных типов в зависимости от направления движения в них осветляемой воды: горизонтальные и вертикальные. Рассмотрим ниже принципы работы и расчеты отстойников.

§ 84. Принципы работы и расчет горизонтальных отстойников

Горизонтальный отстойник представляет собой бассейн прямоугольной формы, обычно вытянутый в длину (рис. 426).

Вода, подлежащая осветлению, подводится к одной из торцевых сторон отстойника, проходит по всей его длине до противоположной торцевой стены, откуда отводится.

На каждую взвешенную частицу, находящуюся в воде, проходящей через отстойник, действуют две силы — сила тяжести и сила инерции

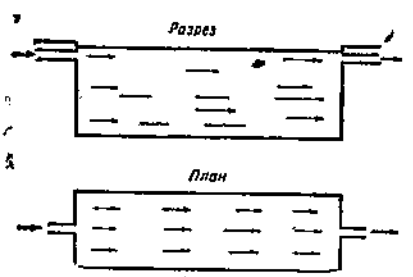


Рис. 426

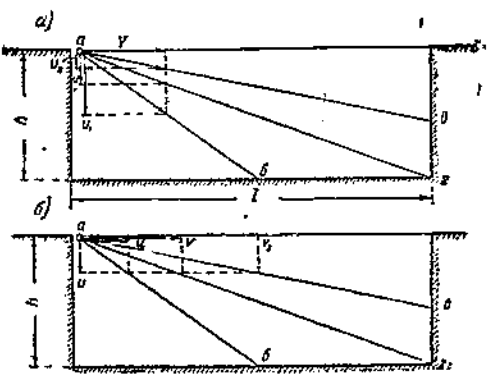


Рис. 427

движущейся воды. Первая сила обусловливает скорость выпадения частицы u (скорость ее осаждения) и вторая — скорость ее горизонтального движения v (рис. 427). Очевидно, траектория движения частицы будет направлена по равнодействующей этих двух скоростей. Условно можно допустить, что величина скорости выпадения рассматриваемой частицы и скорости горизонтально движущейся воды может быть принята постоянной за все время выпадения частицы и траектория ее будет прямой.

Для того чтобы данная частица была задержана отстойником, необходимо, чтобы она успела осесть на дно за время прохождения через отстойник.

Очевидно, наиболее длинный путь осаждения будут иметь частицы взвеси, содержащиеся в самом верхнем слое осветляемой воды. Выпадение взвеси начнется с момента поступления воды в отстойник. Рассмотрим движение оседающей частицы a, только что вошедшей в отстойник и находящейся в верхнем слое воды (рис. 427, $а$). При заданной высоте h и длине l отстойника и принятой скорости движения в нем воды v возможность улавливания частицы отстойником будет зависеть от величины скорости ее осаждения u.

По направлению равнодействующей скоростей u и v можно судить о том, будет ли данная частица задержана отстойником. Если, например, вертикальная скорость равна u_1 (рис. 427), равнодействующая, направленная по линии ab, пересекает дно, и, следовательно, частица оседает в пределах отстойника. При некоторой меньшей скорости осаждения, равной u_2, равнодействующая as уже не будет пересекать дна, и, следовательно, частица не успеет осесть и может быть вынесена из отстойника.

При заданных h, l и v можно найти такие критические значения скорости оседания u, при которых направление равнодействующей пройдет через угол отстойника $г$. Такой отстойник будет задерживать лишь частицы, имеющие скорость выпадения больше u.

Мелкие частицы будут выноситься вместе с водой, не успев осесть в пределах отстойника.

Если перед отстойником данных размеров ставится задача улавливать частицы до крупности, которой соответствует определенная скорость выпадения u, то, очевидно, всегда можно подобрать такое значение v, при котором направление равнодействующей u и v пройдет через конечную нижнюю точку отстойника.

Влияние различной скорости движения воды в отстойнике v при заданной скорости осаждения u видно из рис. 427, $б$. Для осаждения частицы с заданной скоростью u необходимо дать скорость движения воды в отстойнике, меньшую или равную v.

Для отстойника определенных размеров может быть установлена простая зависимость между величинами u и v. Принимая, что вода движется по всему поперечному сечению отстойника с одинаковой скоростью, получим из подобия треугольников

$$\frac{v}{u} = \frac{l}{h},$$

откуда

$$v = \frac{l}{h}\, u,$$

или

$$u = \frac{h}{l}\, v.$$

В реальных условиях движения воды в отстойниках недостижимо вполне равномерное использование всего сечения отстойника как по ширине b, так и по высоте h. Практически вода движется в отстойнике, занимая часть его ширины b (рис. 428).

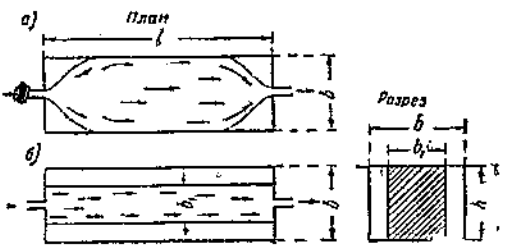


Рис. 428

Для упрощения заменим переменную ширину потока движущейся жидкости (рис. 428, $а$) некоторой постоянной по всей длине средней шириной b_1, соответствующей средней скорости движения воды в отстойнике (рис. 428, $б$). Тогда площадь живого сечения движущейся жидкости $\omega_1 = b_1 h$ будет меньше площади поперечного сечения отстойника $\omega = bh$, т. е. используемая площадь уменьшится

$$\frac{\omega_1}{\omega} = \frac{b_1 h}{bh} = \frac{b_1}{b}.$$

Действительная скорость воды возрастет по сравнению с той, которую мы имели бы, используя все поперечное сечение, т. е. действительная скорость будет $\frac{b}{b_1} \cdot v$.

Таким образом в уравнения, связывающие величины v и u, вместо v должно быть вставлено $\frac{b}{b_1} \cdot v$, и уравнения эти примут вид:

$$v = \left(\frac{b_1}{b}\right)\frac{l}{h}u; \quad v = \beta\frac{l}{h}u;$$

$$u = \left(\frac{b}{b_1}\right)\frac{h}{l}v; \quad u = \alpha\frac{h}{l}v,$$

где

$$\beta = \frac{b_1}{b} = \frac{1}{\alpha},$$

так как

$$b_1 < b - \beta < 1.$$

Поэтому в отстойниках, имеющих заданные размеры и расчетную скорость движения воды, явление неполного использования ширины отстойника повышает значение критической скорости осаждения, т. е. увеличивает предельный размер частиц, которые задерживаются отстойником, а следовательно, уменьшает общее количество задерживаемой взвеси, снижая таким образом эффективность работы отстойника.

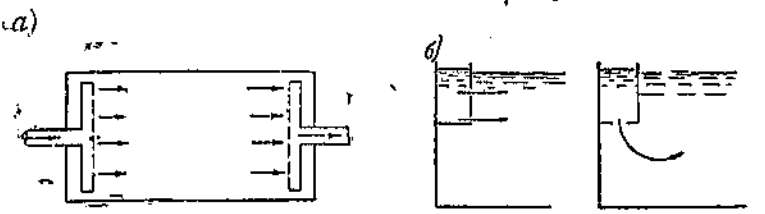


Рис. 429

Чтобы увеличить степень использования ширины отстойника, на практике принимают различные меры. Впуск воды в отстойник и отвод ее из отстойника осуществляют не в одной точке, как это показано на рис. 428, а устраивают поперечные водосливы (рис. 429, *а*), дырчатые желоба (рис. 429, *б*) и тому подобные устройства, распределяющие подаваемую воду более равномерно по всей ширине отстойника. Для равномерного по всей ширине отвода воды у задней стенки отстойника также устраивают водосливы. Все эти мероприятия увеличивают коэффициент $\left(\beta = \frac{b_1}{b}\right)$, повышая эффект работы отстойника.

Поперечные сечения отстойника практически используются неполностью не только по ширине, но и по высоте.

При проектировании горизонтального отстойника основными расчетными данными являются: производительность отстойника, желательный процент задержания взвеси и высота отстойника.

Имея кривые, характеризующие процесс выпадения взвеси, можно определить величину предельной скорости осаждения u охватываемой отстойником соответствующей намеченному проценту содержания взвеси.

Средняя высота горизонтальных отстойников h назначается обычно в пределах от 3 до 6 *м* в зависимости от ряда практических соображений, связывающих отстойник с остальными элементами очистной станции: отметки земли (профиль), отметки резервуара чистой воды, фильтров, возможность заглубления дна отстойника в зависимости от уровня стояния грунтовых вод и т. д.

При проектировании очистных сооружений предварительно намечается так называемая «высотная схема», устанавливающая соотношение всех основных отметок отдельных сооружений (см. § 123).

Учитывая несовершенство работы отстойника, расчетную скорость выпадения взвеси, задерживаемой отстойником, принимают

$$u_{расч} = \varepsilon u,$$

где ε для простого отстаивания обычно принимается в пределах около 1,3—1,5 и для отстаивания с коагулированием около 2.

Практически величина $u_{расч}$ принимается для простого отстаивания 0,05 *мм/сек*; для отстаивания с периодическим коагулированием 0,1 *мм/сек*; для отстаивания с постоянным коагулированием 0,5—0,75 *мм/сек*.

Время пребывания воды в отстойнике (время отстаивания):

$$T = \frac{h}{u_{расч}}.$$

Время отстаивания без коагулирования принимается примерно до 12 час., при коагулировании — в пределах от 2 до 4 час.

Длина отстойника принимается равной от 10 до 30—40 *м*. Скорость движения воды $v = u_{расч}\frac{l}{h}$. Эта величина применяется не менее 0,5 *мм/сек*, так как меньшие скорости практически трудно осуществимы, и не более 12—15 *мм/сек*, чтобы не вызвать усиленного образования вихрей, препятствующих осаждению. Ширина отстойника $b = \frac{Q}{36vh}$, если принимать производительность отстойника Q в $м^3/час$ и v *мм/сек*.

Как выше указано, значительная ширина отстойника ухудшает эффект его работы, и поэтому при значительной величине b, полученной из расчета, отстойник разделяется на несколько (n) параллельных камер с меньшей шириной $b_n = \frac{b}{n}$. Величина b_n принимается обычно от 3,5 до 5 *м*.

Если длина отстойника получилась из расчета весьма большой по сравнению с его шириной, устраивают двухоборотные отстойники (рис. 430), причем оборот может быть осуществлен путем устройства вертикальной или горизонтальной перегородки.

Расчет отстойника ведется путем ряда приближений, причем отдельные размеры и расчетные величины, получаемые в результате расчета, сверяются с данными, полученными из опыта эксплоатации существующих установок.

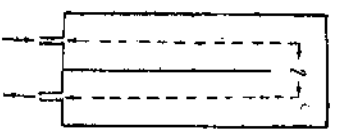


Рис. 430

Пример расчета горизонтального отстойника. Расчетное количество осветляемой воды $Q = 800$ *м/час*. Вода постоянно коагулируется. В соответствии с высотной схемой задаемся глубиной отстойника $h = 4{,}5$ *м*. Скорость осаждения взвеси принимаем $u_{расч} = 0{,}5$ *мм/сек*.

Время пребывания воды в отстойнике

$$T = \frac{h}{u_{расч}} = \frac{4{,}5 \cdot 1000}{0{,}5 \cdot 3600} = 2{,}5 \text{ часа}.$$

Принимая отношение $\frac{l}{h} = 10$, получим длину отстойника $l = 10 \cdot 4{,}5 = 45$ *м* и скорость движения воды в отстойнике

$$v = u_{расч}\frac{l}{h} = 0{,}5 \cdot 10 = 5 \text{ мм/сек}.$$

Ширина отстойника $b = \frac{Q}{3{,}6\, v\, h} = \frac{1\,800}{3{,}6 \cdot 5 \cdot 4{,}5} = 22$ *м*.

В соответствии с указанным ранее разделим отстойник на 4 отделения шириной

$$b_n = \frac{b}{n} = \frac{22}{4} = 5{,}5 \text{ м}.$$

§ 85. Принцип работы и расчет вертикальных отстойников

В вертикальных отстойниках движение осветляемой воды осуществляется в вертикальном направлении — снизу вверх. Вертикальные отстойники представляют собой круглые или прямоугольные в плане бассейны (рис. 431) с центральной трубой, в которую подается осветляемая вода. Выйдя из центральной трубы, вода движется вверх с весьма малой скоростью v и уходит из отстойника, переливаясь через его борт в концентрически расположенный желоб.

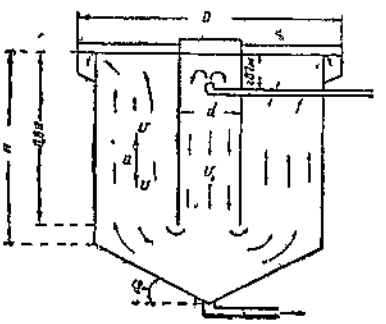


Рис. 431

Осаждение взвеси происходит во время восходящего движения воды в отстойнике. Движение частицы содержащейся в воде взвеси a зависит от скорости движения воды v и скорости выпадения частицы u (в стоячей воде): в вертикальных отстойниках обе скорости направлены вертикально и в противоположные стороны. Задерживаться отстойником будут частицы, имеющие $u > v$. Теоретически предельной скоростью выпадения частиц, улавливаемых отстойником, будет скорость $u = v$.

Учитывая, так же как и в случае горизонтальных отстойников неравномерное распределение скоростей и неполное использование объема отстойника, вместо наблюдаемой скорости u принимают расчетную скорость, т. е. $u_{расч} = v$. При этом $u_{расч} = \frac{u}{\varepsilon}$.

Коэфициент ε для вертикальных отстойников обычно принимается равным 2.

Для взвеси, осаждаемой путем простого механического отстаивания или отстаивания с периодическим коагулированием, величина расчетной предельной скорости осаждения улавливаемых отстойником частиц будет около

$$u_{расч} = 0{,}05 - 0{,}1 \ мм/сек.$$

Столь малые скорости движения воды в отстойнике получить практически невозможно. Это обстоятельство исключает применение вертикальных отстойников для простого отстаивания и позволяет их применить лишь для отстаивания коагулированной воды при скорости движения воды 0,5—0,75 *мм/сек*.

Теоретическое расчетное время пребывания воды в отстойнике назначают обычно $t = 2 \div 2^1/_2$ часа, доводя его при трудно осаждаемой взвеси до 3 час. и в отдельных случаях до 4 час.

Высота вертикальных отстойников, как и горизонтальных, принимается в соответствии с рельефом местности в увязке с остальными элементами установки, т. е. по высотной схеме. Высота вертикальных бассейнов обычно устанавливается в 4—6 *м*.

При определении размеров отстойника следует учитывать, что соотношение высоты H и диаметра D желательно делать близким к $\frac{D}{H} = 1{,}5$, во всяком случае не более $\frac{D}{H} = 3{,}0$. При больших значениях отношения $\frac{D}{H}$ работа вертикального отстойника ухудшается ввиду увеличения неравномерности распределения скоростей по сечению. Если задано время отстаивания, высоту отстойника определяют так: $H = 3{,}6vt$, где v — скорость движения воды, или, если зада-

но H (по изложенным выше соображениям), определяется $v = \frac{H}{3{,}6t}$; при этом желательно, чтобы v оставалось в указанных выше пределах — 0,5—0,75 *мм/сек*.

Площадь поперечного сечения рабочей части отстойника:

$$\omega = \frac{Q}{3{,}6v}.$$

Площадь сечения центральной трубы определяется по допустимой в ней скорости движения воды v_1:

$$\omega_0 = \frac{Q}{3{,}6v_1},$$

где Q — расход в *м³/час*.

Величина v_1 назначается в пределах 20—30 *мм/сек*. Эти величины, как показали исследования, дают оптимальный результат, так как они достаточно малы, чтобы не взмучивать осадка на дне отстойника, и вместе с тем достаточны для обеспечения равномерного распределения подаваемой воды по всему сечению рабочей части отстойника.

Суммарная площадь отстойника будет $\Omega = \omega + \omega_0$, и по ней может быть определен диаметр его

$$D = \sqrt{\frac{4\Omega}{\pi}}.$$

Диаметр центральной трубы $d = \sqrt{\frac{4\omega_0}{\pi}}$.

При устройстве нескольких параллельно работающих отстойников общая площадь их Ω делится на число отстойников и затем определяется их диаметр.

На рис. 431 дана схема устройства вертикального отстойника. Высота центральной трубы принимается в $0{,}8H$, где H — высота цилиндрической части отстойника. Труба, подающая сырую воду в центральную трубу отстойника, должна оканчиваться на 0,6—1,0 *м* ниже уровня воды. В отстойниках с большим отношением $\frac{D}{H}$ $\left(\text{обычно при } \frac{D}{H} > 3\right)$ для более равномерного распределения воды по поперечному сечению отстойника устраивают иногда не одну, а несколько (например три) центральных труб, а также для отвода воды, кроме кольцевого желоба, еще радиально установленные желоба. Радиальные желоба целесообразно устраивать при $D > 4$ *м*.

Пример расчета вертикального отстойника. Полезная производительность станции $Q_n = 30\,690$ *м³/сутки*.

Полная производительность с учетом расхода на собственные нужды станции $Q = \alpha Q_n$ или, принимая $\alpha = 1{,}085$[1]:

$$Q = 1{,}085 \cdot 30\,690 = 33\,200 \text{ м}^3/\text{сутки}.$$

При круглосуточной работе станции часовой расход будет равен:

$$q = \frac{33\,200}{24} = 1\,383 \text{ м}^3/\text{час}.$$

На основании высотной схемы задаемся высотой отстойника $H = 6$ *м*. Время отстаивания принимаем $t = 2{,}5$ часа. Скорость движения воды в отстойнике получим:

$$v_1 = \frac{6 \cdot 1\,000}{3\,600 \cdot 2{,}5} = 0{,}67 \text{ мм/сек},$$ что лежит в допустимых пределах.

---

[1] При интенсивности промывки фильтра 12,5 *л/сек* на 1 *м²*.

Площадь поперечного сечения отстойника:

$$\omega_1 = \frac{q}{v_1} = \frac{1\,383 \cdot 1\,000}{3\,600 \cdot 0{,}67} = 572 \text{ м}^2.$$

Площадь поперечного сечения центральной трубы при $v_2 = 25$ *мм/сек*:

$$\omega_2 = \frac{q}{v_2} = \frac{1\,383 \cdot 1\,000}{3\,600 \cdot 25} = 15{,}4 \text{ м}^2.$$

Общая площадь $\omega = \omega_1 + \omega_2 = 572 + 15{,}4 = 587{,}4$ *м*^{2}.

Принимаем число отстойников $n = 6$.

Площадь одного отстойника $\omega_0 = \frac{\omega}{n} = \frac{587{,}4}{6} = 98$ *м*^{2} и его диаметр $D = \sqrt{\frac{4{,}98}{3{,}14}} = 11{,}2$ *м*.

Соотношение $\frac{D}{H} = 1{,}87$ лежит в рекомендуемых пределах (от 1,50 до 2,0).

Площадь одной центральной трубы $\omega_0' = \frac{\omega_2}{n} = \frac{15{,}4}{6} \approx 2{,}53$ *м*^{2} и ее диаметр

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2{,}53}{3{,}14}} \approx 1{,}8 \text{ м}.$$

§ 86. Выбор типа отстойника, устройство и эксплоатация отстойников

Выбор типа отстойника диктуется экономическими и конструктивными соображениями и зависит от суточной производительности станции, общей ее компоновки, а также местных природных условий — рельефа местности, характера грунтов и т. п.

Опыт проектирования и строительства очистных станций показывает, что вертикальные отстойники экономичнее горизонтальных при суточной производительности станции до 20—30 тыс. *м*^{3}. Вертикальные отстойники устраиваются круглой или квадратной формы в плане. Квадратная форма отстойников позволяет производить их установку впритык, что сокращает площадь станции по сравнению с круглыми отстойниками. Устройство их выгодно при большом числе отстойников. Кроме того, расчеты показывают, что при емкости до 800 *м*^{3} круглые отстойники дешевле квадратных; при емкости 800—1 000 *м*^{3} стоимость тех и других примерно одинакова и при емкости более 1000 *м*^{3} квадратные отстойники дешевле круглых. Как правило, вертикальные отстойники, объединяемые с камерой реакции, дешевле отдельно устраиваемых отстойников и камер реакций.

Отстойники могут быть расположены в одном общем здании с фильтрами или вне здания фильтров; первое расположение имеет место в станциях небольшой производительности. Установка отстойников в здании дороже, но удобнее в отношении эксплоатации. В здании фильтров могут устанавливаться вертикальные отстойники. Горизонтальные отстойники всегда устанавливаются вне здания фильтров.

Отстойники, как горизонтальные, так и вертикальные, устраиваются почти исключительно из железобетона.

При установке горизонтальных отстойников вне здания фильтров они заглубляются в землю с обсыпкой на 0,2 *м* надземной части сооружения в целях утепления. Перекрытие следует устраивать с уклоном 0,01 для отвода воды и покрывать слоем асфальта 2,5 *см*. Под дном отстойника желательно устраивать дренаж. Горизонтальные отстойники целесообразно располагать так, чтобы они примыкали торцевой стороной к зданию фильтров — для удобства обслуживания. Перекрытие отстойников — ребристое железобетонное, иногда деревянное.

Для доступа в отстойники устраиваются лазы, закрывающиеся люками. Для освещения устраиваются фонари. Отстойники вентили-

руются, для чего на их перекрытии устанавливаются вентиляционные стояки.

Круглые вертикальные отстойники, расположенные вне здания, имеют купольные перекрытия со световыми фонарями и лазами.

Конструкция отстойников должна предусматривать возможность легкого удаления из них осадков. Для этого в круглых вертикальных отстойниках:

а) Устраивается коническое дно с углом конусности около 40—45°, что обеспечивает сползание осадков самотеком в нижнюю часть конуса, к которой присоединена труба для отвода осадка. Осадок удаляется под давлением воды, заполняющей отстойник. При каждом выпуске осадка происходит понижение уровня воды примерно на 1 *м*.

При квадратных отстойниках дно следует делать также коническим, а не пирамидальным для сохранения одинакового и достаточного уклона по всей площади. Устройство конического дна представляет большие удобства, особенно при значительном количестве осадка (мутная вода, требующая больших доз коагулянта, вода, осветляемая при умягчении), но может применяться лишь при относительно небольших диаметрах отстойников (до 6—6,5 *м*). При больших диаметрах устройство конуса потребует весьма значительного заглубления. Кроме того, устройство конусного дна затруднительно в слабых грунтах.

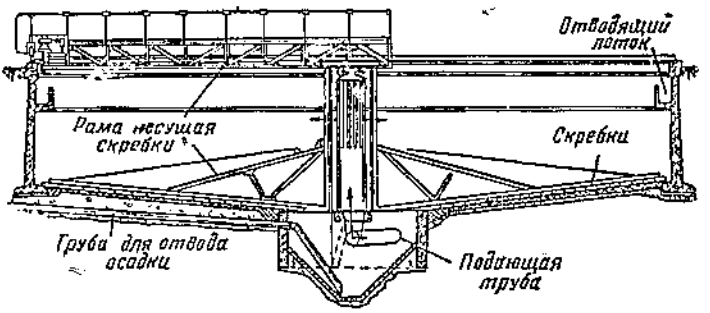


Рис. 432

б) Устраивается почти плоское дно ($i = 0{,}02$) при дополнительном увеличении глубины отстойника (около 0,2 его высоты) для приема осадка. Это устройство удобно при относительно малом количестве осадка. Удаление осадка производится вручную путем опорожнения бассейна и смыва осадка брандспойтом.

в) При большом количестве осадка и относительно больших диаметрах отстойников наиболее целесообразно механическое удаление осадков (например, при помощи скребков Дорра). Скребки вращаются при помощи специального механизма и сгребают осадок в центральный приямок, из которого он удаляется по трубе. В заграничной практике механическое удаление осадка очень распространено. До сего времени у нас такие отстойники имеют распространение преимущественно в практике очистки сточных вод (рис. 432).

У нас этому вопросу пока еще не уделяется надлежащего внимания, но в последние годы в ряде установок механическое удаление осадка начинает применяться. За границей применяются также различные приспособления (насосы) для отсасывания осадков.

На рис. 433 дан пример вертикальных отстойников с коническим днищем для станций малой производительности (2 500 *м³/сутки*). На рис. 434 приведен чертеж вертикальных отстойников большого диаметра с плоским днищем, расположенных вне здания фильтров.

Для облегчения удаления осадка из горизонтальных отстойников дну их придается уклон поперечный (0,05) к продольным лоткам и про-

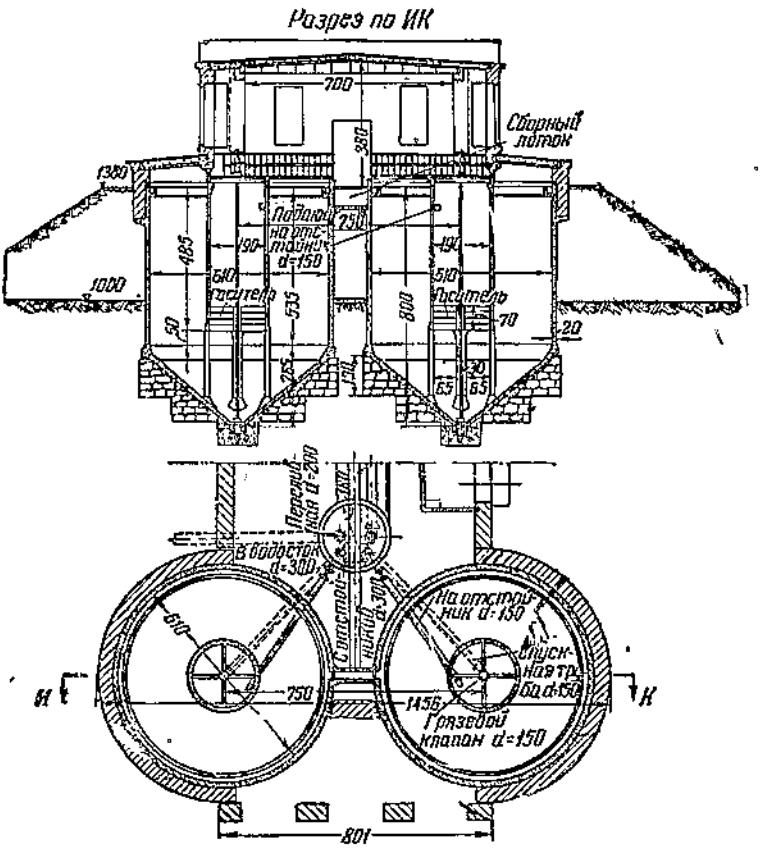


Рис. 433

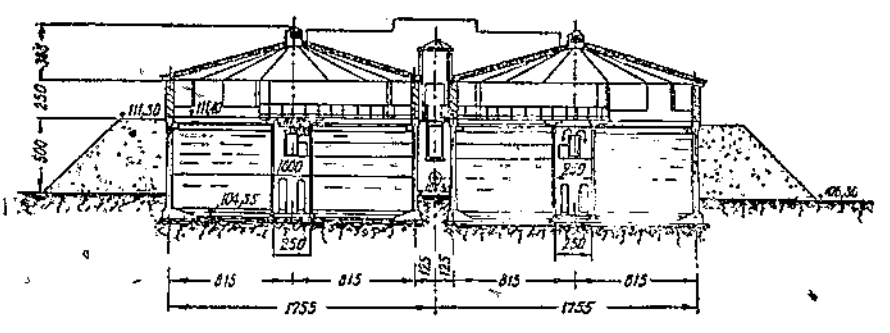


Рис. 434

дольный (0,02)—к сборным приямкам. Удаление осадка производится после спуска воды вручную струей из брандспойта. На рис. 435 дан пример устройства горизонтальных отстойников, примыкающих к зданию фильтров.

Периодическое и своевременное удаление осадка составляет одну из основных операций в эксплоатации отстойников. Значительный ин-

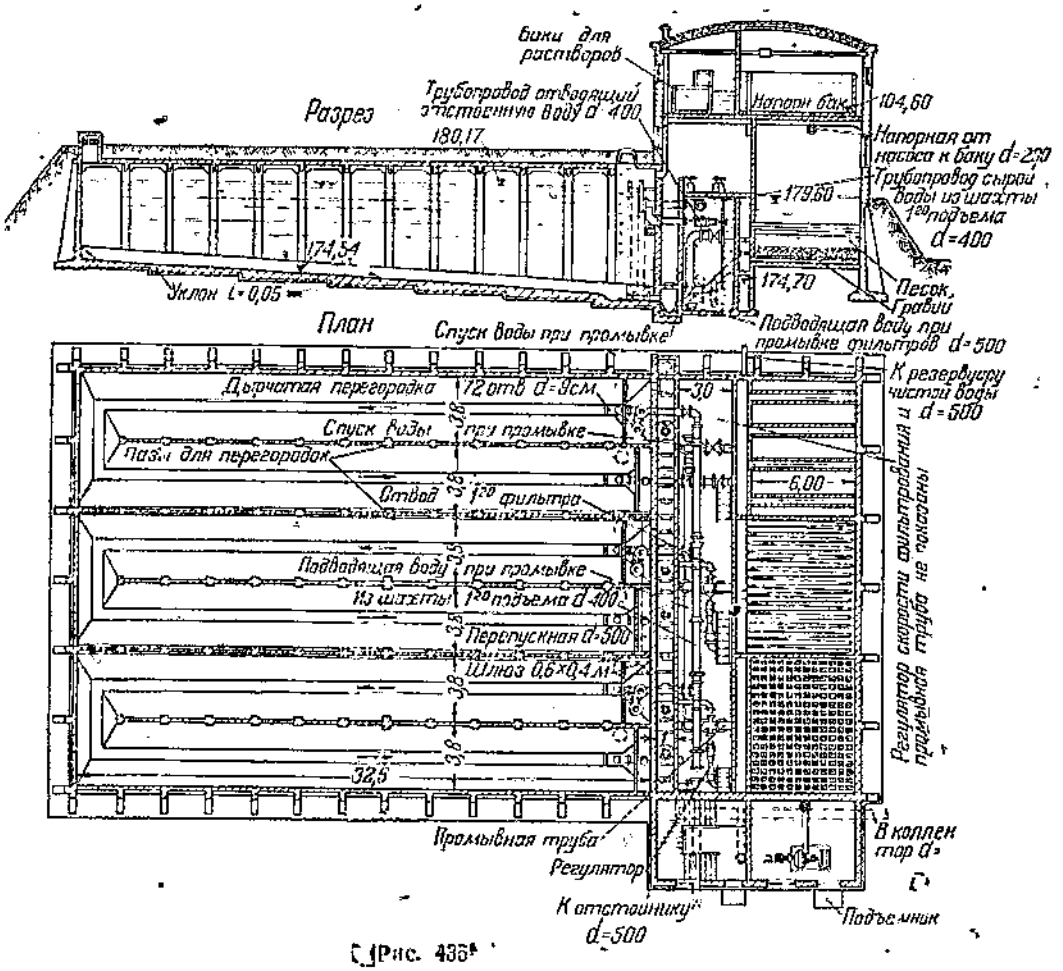


Рис. 435

терес представляет вопрос о регенерации осадка. Проводившиеся опыты дают основание полагать возможным использование осадка в качестве коагулянта для сточных вод, после обработки его серной кислотой. Возможно употребление осадка в качестве удобрения после предварительного подсушивания.

В рационально эксплоатируемой установке должен производиться повседневный контроль за качеством воды до и после отстаивания для определения эффекта работы отстойника, установления и изменения доз коагулянта и т. п.

Доступ к сооружениям по осветлению воды должен быть ограничен; вход в эти сооружения может допускаться лишь в специальной одежде.

§ 87. Суспензионная сепарация

Практика эксплоатации вертикальных отстойников привела к установлению нового принципа осветления воды путем так называемой «суспензионной сепарации».

Если осадок, скапливающийся в нижней части отстойника (рис. 434), поднимается выше устья центральной подающей трубы, вода сможет попадать в отстойник, только проходя через слой осадка. Опыт показал, что в этом случае процесс осветления воды идет лучше, чем при обычном отстаивании. В процессе прохождения воды через толщу осадка, находящегося во взвешенном (суспендированном) состоянии, происходят задерживание частиц мути и хлопьев коагулянта, их укрупнение и выделение из воды.

За последнее десятилетие этот принцип осветления (впервые предложенный проф. С. Х. Азерьер) был использован для устройства осадочных бассейнов специальной конструкции.

На рис. 436 представлен один из таких «суспензионных сепараторов» (системы инж. Тетеркина). Вода (освобожденная предварительно от воздуха в воздухоотделителе, во избежание взмучивания осадка) подается по трубе *В* снизу в воронку *А* («диффузор»), в которой скапливается взвешенный осадок. Диффузор помещается внутри вертикального отстойника. Вода, прошедшая диффузор, переливается в кольцевой отводящий желоб и уходит из сепаратора. Осадок по мере накопления переливается через верхний уровень воронки *А* и скапливается в нижней части отстойника, откуда периодически удаляется. Сепараторы этой системы выстроены и работают на некоторых водоочистных станциях.

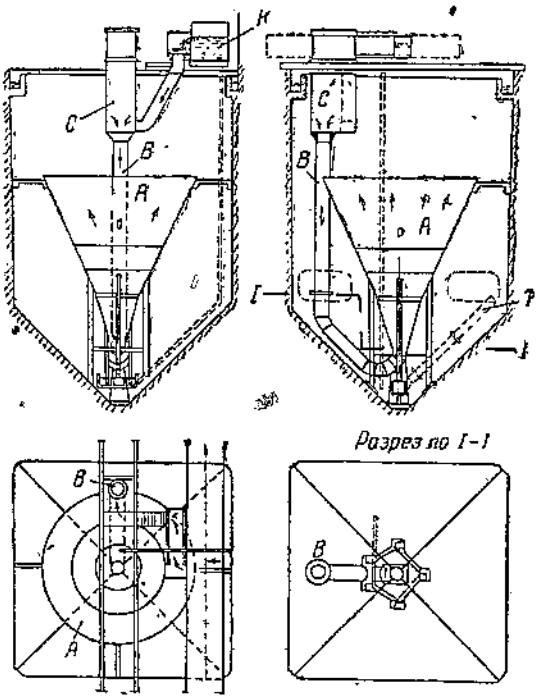


Рис. 436

Осадочные бассейны с использованием принципа суспензионной сепарации в последние годы применяются и в США (например сепаратор или «пресипитатор» системы Сполдинга). Применение указанного принципа осветления облегчает работу фильтров; в отдельных случаях при нем можно вовсе отказаться от последующего фильтрования воды.

Хорошие результаты работы суспензионных сепараторов, а также их экономические преимущества дают основание полагать, что они получат в дальнейшем широкое распространение в практике водоочистки.

§ 88. Коагулирование

Коагулирование применяется для укрупнения (соединения в хлопья) мельчайших взвешенных частиц и коллоидальных веществ, находящихся в воде, для ускорения их осаждения. Одним из условий хлопьеобразования является нейтрализация электрических зарядов коллоидных частиц. В обычных условиях коллоидные частицы, несущие одноименные заряды, отталкиваются друг от друга. При введении в воду электролитов, заряженных противоположно, заряды коллоидных частиц, содержащихся в воде, нейтрализуются и вследствие

адсорбции частицы начинают быстро соединяться и укрупняться, образуя хлопья. При относительно больших размерах хлопьев процесс осаждения происходит быстро.

При коагулировании понижается цветность, так как из воды адсорбируются вещества, обусловливающие наличие цветности. Кроме того, хлопьями коагулянта частично захватываются и бактерии, содержащиеся в природной воде.

В водопроводной практике применяют различные коагулянты, из которых наибольшее распространение имеют сернокислые соли металлов алюминия и железа. Из первых употребляется сернокислый алюминий — сульфат алюминия $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, из вторых — железный купорос $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (сульфат железа).

В настоящее время проведены успешные опыты по использованию для осветления воды зольного коагулянта, получаемого путем специальной обработки золы из котельных ТЭЦ, а также коагулянта из пиритового огарка. К достоинствам этих коагулянтов относятся хорошая растворимость и значительный вес хлопьев, образующихся при коагулировании.

При введении в воду сернокислый глинозем вступает в реакцию с двууглекислыми солями кальция и магния (бикарбонатами), обусловливающими временную, карбонатную жесткость воды.

Ход реакции представляется обычно следующими уравнениями:

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(HCO_3)_2 = 3CaSO_4 + 2Al(OH)_3 + 6CO_2$$

и

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Mg(HCO_3)_2 = 3MgSO_4 + 2Al(OH)_3 + 6CO_2.$$

Получившаяся $Al(OH)_3$ образует коллоидальное вещество, положительно заряженные частицы которого при взаимодействии с отрицательно заряженными частицами естественных коллоидов вызывают их взаимную коагуляцию и образование хлопьев.

Если природные воды не имеют достаточной щелочности, т. е. не содержат бикарбонатов кальция в количествах, достаточных для взаимодействия с вводимым в воду коагулянтом, применяется искусственное увеличение жесткости воды или так называемое подщелачивание.

Для этого одновременно с коагулянтом в очищенную воду вводят гашеную известь — $Ca(OH)_2$.

Тогда реакция идет следующим образом:

$$Al_2(SO_4)_3 + 3Ca(OH)_2 = 2Al(OH)_3 + 3CaSO_4.$$

При употреблении для коагулирования железного купороса реакция идет следующим образом:

$$FeSO_4 + Ca(HCO_3)_2 = Fe(HCO_3)_2 + CaSO_4.$$

Для ускорения процесса выпадения $Fe(HCO_3)_2$ в воду добавляют гашеную известь, отнимающую углекислоту:

$$Fe(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = Fe(OH)_2 + Ca(HCO_3)_2.$$

В результате окисления $2Fe(OH)_2 + H_2O + O = 2Fe(OH)_3$ гидрат окиси железа $Fe(OH)_3$ выпадает в виде хлопьев.

В настоящее время на водопроводах СССР в качестве коагулянта наибольшее распространение имеет сернокислый алюминий. Различают очищенный сернокислый алюминий $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, содержащий около 50% (округленно) безводной соли, и неочищенный, содержащий различные примеси. На многих водопроводах используется так называемый муттовский глинозем (неочищенный сернокислый алюминий, приготовленный по способу Мутта). В муттовском глиноземе безводный $Al_2(SO_4)_3$ составляет лишь около одной трети по весу.

Доза коагулянта, назначаемая при очистке, зависит от качества природной воды. Правильнее всего устанавливать дозу коагулянта на основании предварительных опытов с водой используемого источника. Ориентировочно минимальная доза безводного очищенного $Al_2(SO_4)_3$ колеблется от 60 до 100 *мг/л*, являясь более низкой для рек северной части СССР и более высокой для мутных рек южной полосы.

Для определения дозы извести при подщелачивании следует иметь в виду, что на реакцию с 1 *мг/л* безводного $Al_2(SO_4)_3$ требуется щелочность воды 0,05 нем. градусов. Зная дозу коагулянта (в *мг/л*), можно определить соответствующее ей необходимое число градусов временной жесткости воды.

Вычтя из этого числа величину карбонатной жесткости воды в естественном состоянии и добавив 2° для обеспечения избыточной щелочности, необходимой для правильного хода реакции, получим число градусов, на которое надо увеличить жесткость подщелачиванием. Требуемую дозу извести получим, зная, что для повышения щелочности воды на 1° нужно 10 *мг/л* CaO.

Если подщелачивание производится содой, то следует иметь в виду, что для повышения щелочности на 1° необходимая добавка соды должна составлять 18,9 *мг/л* Na_2CO_3.

§ 89. Схема сооружений для коагулирования

На очистных станциях современных водопроводов установка для коагулирования воды обычно включает сооружения: а) для подготовки и дозирования коагулянта (реагентное хозяйство), б) для смешения воды с коагулянтом (смесители), в) для хлопьеобразования (камеры реакции).

Введение коагулянта в очищаемую воду должно быть осуществлено до поступления ее в отстойник. Если естественные свойства воды требуют подщелачивания, то реагенты, повышающие щелочность воды, также должны быть поданы в воду до ее поступления в отстойник.

Наиболее часто применяемые реагенты для коагулирования и подщелачивания (сернокислый алюминий и известь) представляют собой твердые вещества в виде кусков или комьев.

В современной практике очистки воды существует два основных принципиально отличных метода подготовки и дозировки реагентов до их введения в очищаемую воду: так называемый «мокрый» и «сухой» методы. В первом случае реагент приготовляется и вводится в воду в виде раствора. Во втором — реагент подается в порошкообразном состоянии. В настоящее время в СССР исключительное распространение имеет первый метод.

Количество подаваемого в воду реагента (в виде раствора или порошка) дозируется. Дозирующие устройства должны действовать автоматически.

В современных крупных водоочистительных станциях сооружения для хранения, приготовления и дозирования коагулянта, составляющие «реагентное хозяйство», имеют большие размеры и сложное оборудование, напоминая цех химического завода.

Для надлежащего действия реагента при введении его в воду надо обеспечить его совершенное смешение с очищаемой водой. Для этой цели служат смесители различных типов и конструкций. В смесителе начинаются реакции взаимодействия введенных в воду реагентов между собой и с веществами, находящимися в сырой воде. Однако для образования хлопьев надлежащей величины, обеспечивающих хорошее качество осветления воды при их осаждении, требуется определенное время. Поэтому, прежде чем подавать воду из смесителя в отстойник,

ее направляют в так называемые «камеры реакции», где происходит образование достаточно крупных хлопьев коагулянта. Рост хлопьев происходит быстрее при перемешивании воды (со скоростями движения, не разрушающими образующиеся хлопья). Время, требующееся для завершения процесса образования хлопьев, определяется в 15—30 мин.

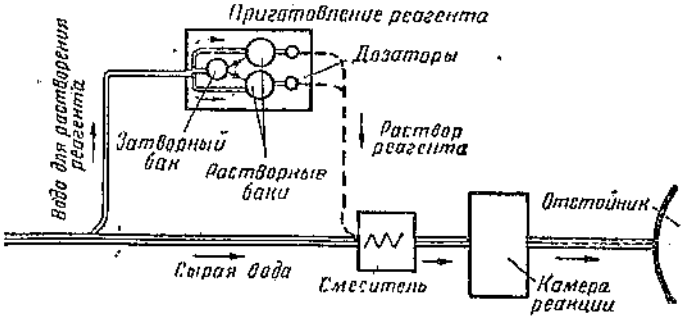


Рис. 437

Поскольку задачей камеры реакции является собственно образование хлопьев, в последнее время ее называют также «камерой образования хлопьев». После хлопьеобразования вода поступает в отстойник, где происходит ее осветление. Схема подготовительных сооружений при отстаивании с коагулированием приведена на рис. 437.

§ 90. Мокрый способ приготовления и дозирования реагентов

Схема установки для приготовления раствора сернокислого алюминия на небольших станциях приведена на рис. 438. Коагулянт в виде кусков или комьев загружается в затворный бак *А*; туда же подается вода и производится приготовление крепкого раствора. Полученный

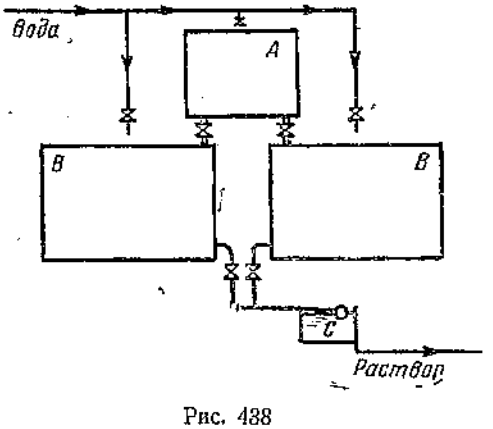


Рис. 438

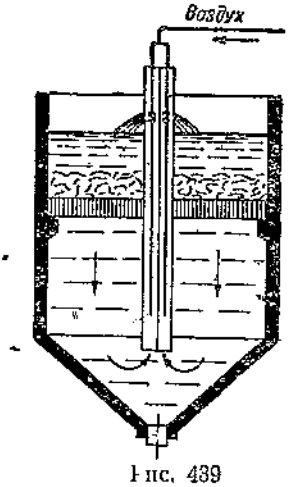


Рис. 439

раствор поступает в растворные баки *В*, где доводится до необходимой крепости (обычно в 5%) путем добавления воды. Из баков *В* попеременно один работает, во втором происходит приготовление раствора. Приготовленный раствор поступает в очищаемую воду, проходя дозирующее приспособление, в простейшем случае дозирующий ба-

чок C с шаровым клапаном обычной конструкции, обеспечивающим постоянный уровень воды в бачке C и, следовательно, постоянную дозу подаваемого в воду коагулянта. При увеличении производительности станций все эти устройства видоизменяются и усложняются.

На рис. 439 дана схема приготовления раствора с перемешиванием, осуществляемым сжатым воздухом. На рис. 440 показан бак для приготовления раствора муттовского глинозема с перемешиванием воды пропеллером.

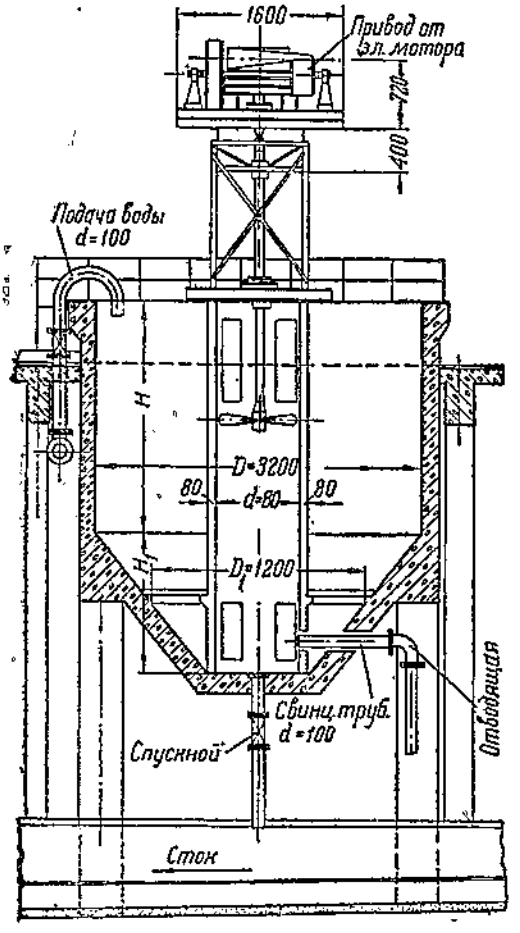


Рис. 440

Для малых станций баки для приготовления растворов могут делаться деревянными круглыми в плане (при емкости до 2—3 $м^3$). При большой производительности станций баки для приготовления растворов устраиваются обычно железобетонными, прямоугольными в плане.

Устройства для приготовления и дозирования коагулянта удобно располагать над смесителем, так чтобы раствор поступал самотеком. В станциях значительной производительности устройство на втором этаже громоздких и тяжелых растворных баков неудобно, вследствие чего заготовка раствора коагулянта производится внизу с последующей его перекачкой в расположенные наверху дозирующие устройства.

Емкость баков для приготовления раствора определяется в зависимости от максимальной расчетной дозы коагулянта a *мг/л*, принятой при проектировании очистной станции, от принятой крепости раствора b, числа затворений в сутки n и от количества очищаемой воды Q $м^3/час$.

Крепость раствора обычно принимается $b = 5\%$ и число затворений в сутки $n = 3$. В отдельных случаях n повышается до 6 и более. Емкость растворного бака W_p определяется следующим образом:

$$W_p = \frac{aQ \cdot 24 \cdot 100}{bn \cdot 1\,000 \cdot 1\,000} = 0{,}0024\,\frac{aQ}{bn}\ м^3.$$

Приняв $b = 5$ и $n = 3$, получим $W_p = 0{,}00016aQ$ $м^3$.

Емкость затворного бака принимается в зависимости от процента содержания безводного $Al_2(SO_4)_3$ в используемом коагулянте. Принимая этот процент равным c и учитывая, что 1 $т$ коагулянта занимает приблизительно 1 $м^3$, получим расчетную емкость затворного бака

$$W_з = \frac{aQ24 \cdot 100}{1\,000 \cdot cn \cdot 1\,000} = 0{,}0024\,\frac{aQ}{cn}\ м^3.$$

Удобно выразить $W_з$ через W_p, очевидно:

$$W_з = \frac{b}{c}\,W_p.$$

Принимая для очищенного сернокислого алюминия $c = 45 \div 50\%$, для неочищенного $c = 33 \div 35\%$ и $b' = 5\%$, получим, округляя с некоторым запасом $W_з = 0{,}2W_р$.

Емкость дозирующего бачка не рассчитывается, а принимается по конструктивным соображениям. Простейшим дозировочным приспособлением является бачок с шаровым краном (рис. 441). Ввиду агрессивного действия раствора коагулянта на металлическую арматуру шаровой кран устраивается из кислотоупорных материалов.

На рис. 442 приведена схема устройства дозирующего приспособления при помощи установки зажима на рукаве, проводящем раствор коагулянта.

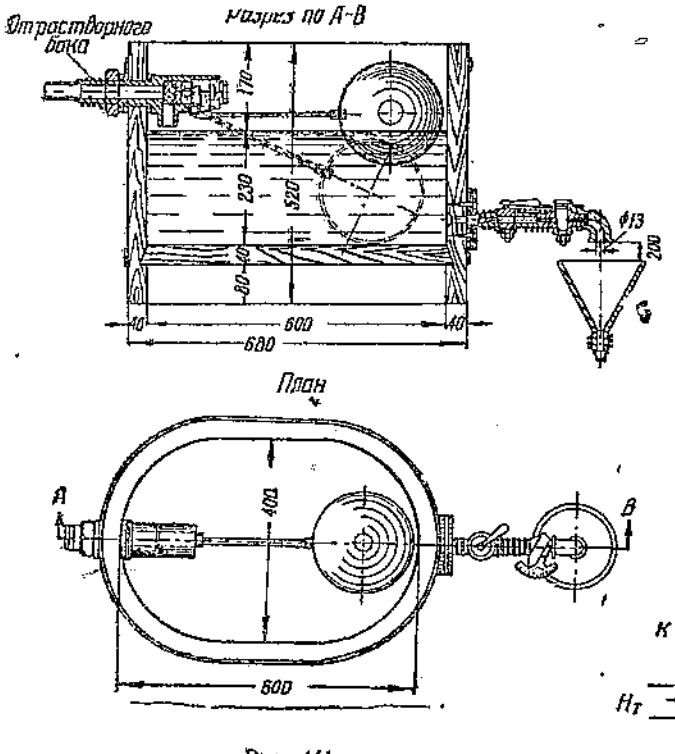


Рис. 441

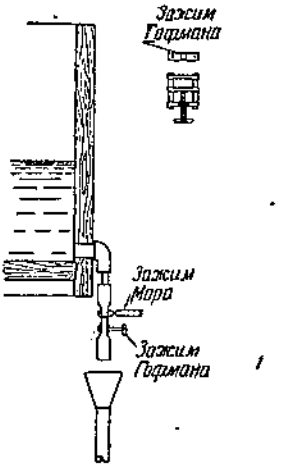


Рис. 442

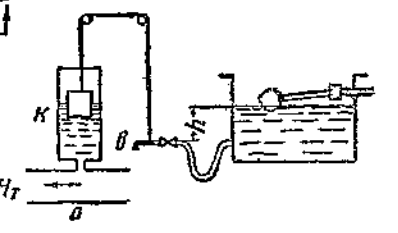


Рис. 443

На рис. 443 показана схема автоматического дозатора раствора реагента. Конец трубы b, через который происходит истечение раствора, связан системой блоков с поплавком, помещенным в колпаке $К$, соединенном с трубой $А$. При увеличении расхода в трубе $А$, подающей воду к отстойникам, потери напора в трубе за колпаком $К$ возрастут, а следовательно, поднимется уровень воды в колпаке и связанный с ним поплавок. Подъем поплавка вызовет опускание конца трубы $в$, увеличение напора h и, следовательно, увеличение расхода коагулянта. Таким образом подобное устройство может автоматически менять дозу реагента пропорционально изменению расхода коагулируемой воды.

В случае необходимости подавать раствор коагулянта под напором (например при установке напорных фильтров) применяют специальные напорные дозаторы. На рис. 444 дана схема установки напорного шайбового дозатора. Раствор, заготовленный в бачке $А$, подается в металлический закрытый цилиндр $Б$. При наполнении цилиндра воздух удаляется через кран *1*, после чего кран *1* и вентиль *2* закрываются. На трубе $В$, подающей коагулированную воду, установлена шай-

ба *Г*, создающая перепад давления. От цилиндра к трубе *В* подведены две трубки, одна присоединяется перед шайбой, другая за ней. Благодаря разности давлений, создаваемой шайбой, вода из трубы *В* устремляется по трубке *а* в цилиндр и вытесняет из него раствор, поступающий по трубке *б* в трубу *В*.

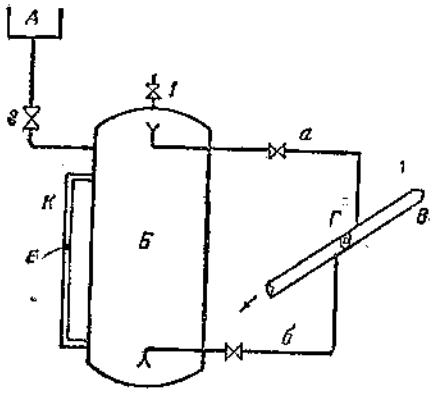


Рис. 444

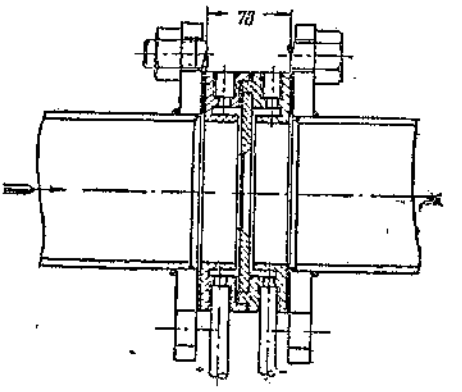


Рис. 445

Благодаря разности удельных весов, вода, поступившая в цилиндр, не смешивается с раствором. Поплавок *Е* в водомерном стекле *К*, плавающий в растворе и тонущий в воде, показывает уровень раствора в цилиндре. При помощи цилиндра *В* производится регулирование дозы вводимого в воду раствора. Обычно устраивают два цилиндра, попеременно включаемых в работу для обеспечения непрерывной подачи раствора. На рис. 445 представлена отдельно дроссельная шайба.

Описание устройств для дозирования извести, вводимой для подщелачивания воды при коагулировании, приводится в главе умягчения воды.

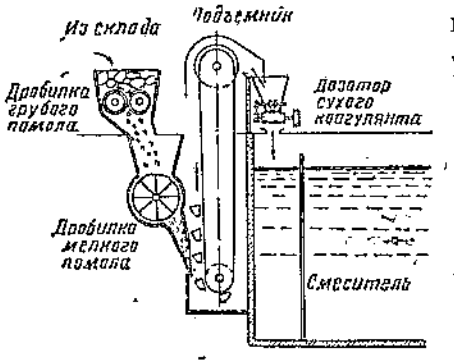


Рис. 446

§ 91. Сухой метод дозирования реагентов

При сухом дозировании коагулянта последний превращается в муку и вводится в очищаемую воду (рис. 446).

Метод сухого дозирования имеет ряд достоинств, особенно при крупных установках: при нем сокращаются размеры реагентного хозяйства ввиду отсутствия громоздких сооружений для приготовления растворов и, кроме того, не происходит повреждения труб и арматуры из-за разъедающего действия раствора коагулянта. Сухое дозирование получило большое распространение на очистных установках США.

Для дозирования измельченного коагулянта применяются дозаторы различных систем — дисковые, червячные, черпаковые, весовые и т. д.

На рис. 447 приведена схема сухого дозатора дискового типа. Измельченный коагулянт подается в небольшой бункер *А* и оттуда поступает на вращающийся горизонтальный диск *Б*. При помощи ножей *1* и *2* достигается желательная высота слоя коагулянта. Избыточно поданный коагулянт удаляется в воронку *В*. Через приемную воронку требуемая доза коагулянта подается в смеситель. Таким образом доза коагулянта определяется в зависимости от скорости вращения и разме-

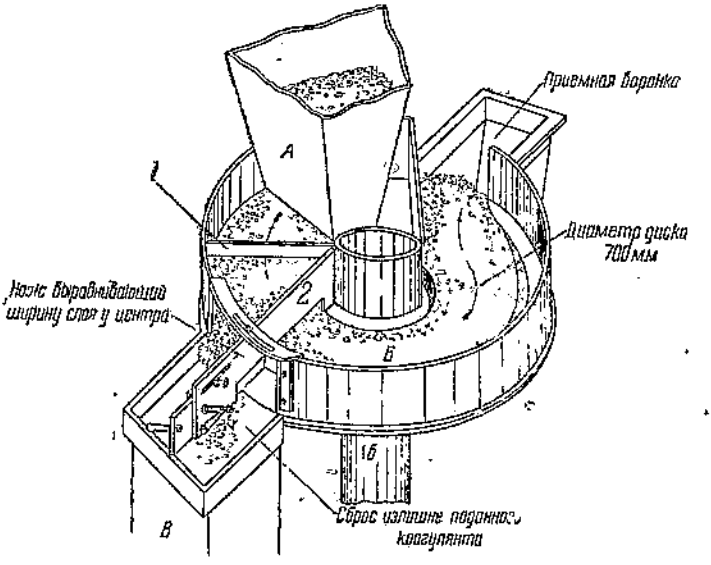


Рис. 447

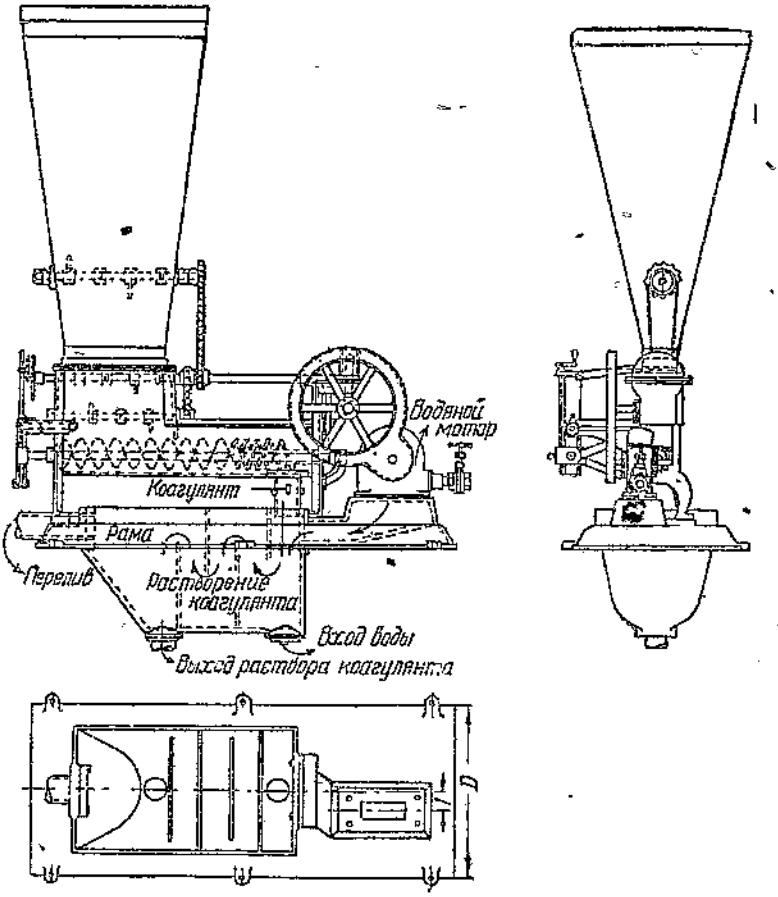


Рис. 448

ров диска и высоты слоя коагулянта, регулируемой подвижным ножом 2.

На рис. 448 представлен дозатор червячно-шнекового типа. Подача измельченного коагулянта производится путем вращения непрерывного горизонтального винта. Внизу производится смешение коагулянта с водой. В нижней части бункера вращаются зубья для перемешивания коагулянта во избежание образования комьев.

§ 92. Смесители

Для надлежащего действия вводимых в воду реагентов необходимо быстрое и совершенное смешение их с водой, осуществляемое при помощи специальных устройств — «смесителей». В смеситель подается вся обрабатываемая вода и туда же вводится раствор реагента или сухой измельченный реагент.

Смешение производится путем создания завихренного движения воды в пределах смесителя, чем достигается наиболее полное и равно-

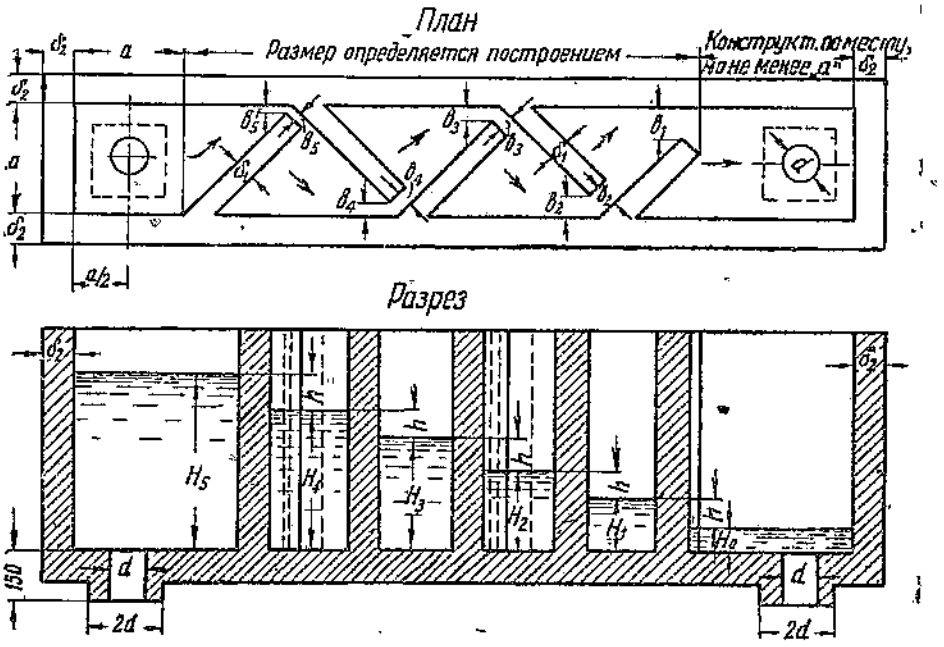


Рис. 449

мерное распределение реагента во всей массе очищаемой воды. Наиболее распространенными типами смесителей являются: а) ершовый, б) дырчатый, в) с гидравлическим прыжком, г) стаканчатый, д) мешалочный (механический).

Процесс смешения должен быть закончен до наступления реакции. При мокром дозировании процесс смешения должен быть закончен не более чем в 1 мин., при сухом дозировании, когда требуется предварительное растворение сухого коагулянта, время пребывания воды в смесителе может быть 2—3 мин.

Смеситель ершового типа показан на рис. 449. Он представляет собой металлический или железобетонный желоб. В желобе имеются перегородки (под углом 45° к стенкам) со щелями, оставленными для прохода воды. Число перегородок обычно принимается равным пяти. Скорость движения воды через щель $v_1 = 0{,}8$ *м/сек*, что обеспечивает при небольших потерях напора интенсивное завихрение.

Потери напора в каждой щели $h=\xi\frac{v_1^2}{2g}$. По опытным данным $\xi=2\div2{,}5$ при направлении движения воды, показанном на рис. 449, и $\xi=3\div3{,}5$ при обратном направлении воды. В последнем случае достигается более интенсивное перемешивание, но возрастают потери напора. На практике применяются оба случая.

При расчете ершового смесителя определяют: площадь сечения и размеры лотка, размеры щелей и потери напора. Так как скорость прохождения воды через щели принимается одинаковой для всех щелей, а уровень воды в каждой последующей щели уменьшается (благодаря потерям напора), ширина щелей возрастает (по ходу воды).

По секундному расходу воды q определяют площадь сечения лотка после „ерша" $\omega_2=\frac{q}{v_2}$, где v_2 — скорость движения воды в лотке, принимаемая 0,6 *м/сек*. Задаваясь шириной лотка a, определяют уровень воды:

$$H_0=\frac{\omega}{a}.$$

Площадь живого сечения щели:

$$\omega_0=\frac{q}{v_1};$$

эта величина остается постоянной для всех щелей. Определив потери напора h в одной щели, находят уровень воды перед каждой щелью: $H_1=H_0+h$ — для 1-й от конца, $H_2=H_0+2h$ — для 2-й и т. д. и, деля ω_0 на эти величины, получают искомую ширину щелей:

$$b_1=\frac{\omega_0}{H_0+h};\qquad b_2=\frac{\omega_0}{H_0+2h}\text{ и т. д.}$$

Высота стояния воды в желобе до «ерша» будет $H_5=H_0+5h$.

Дырчатый смеситель устраивается в виде железобетонного или металлического желоба с установленными в нем дырчатыми перегородками (рис. 450). Число перегородок обычно принимается равным 3—4. Скорость движения воды в лотке $v_1=0{,}6$ *м/сек*, скорость в отверстиях $v_2=1\div1{,}5$ *м/сек*.

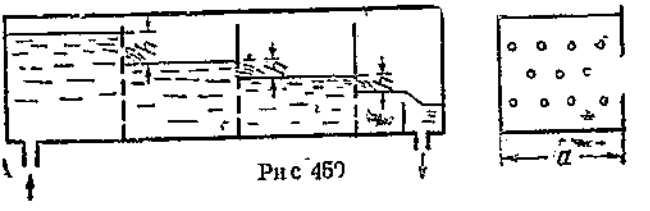


Рис 450

Суммарная площадь отверстия в каждой перегородке $\omega_2=\frac{q}{v_2}$; площадь сечения лотка $\omega_1=\frac{q}{v_1}$; площадь сечения каждого отверстия $\omega_0=\frac{\omega_2}{n}$, где n — число отверстий. Практически диаметр отверстия принимается от 20 до 100 *мм*. При известковании воды малые отверстия нежелательны. Потери напора в отверстиях каждой перегородки

$$h=\frac{v_1^2}{\mu 2g},$$

где $\mu=0{,}62\div0{,}7$.

Рис. 451

Уровень воды перед каждой перегородкой должен обеспечить затопление всех отверстий. Истечение из верхнего ряда отверстий может происходить и не под уровень. При помощи дырчатого смесителя достигается весьма совершенное смешение.

Смеситель, представленный на рис. 451, основан на принципе «гидравлического прыжка».

Вода, подаваемая в резервуар, вытекает из него в лоток. Отверстие прикрывается регулирующим щитком. Скорость движения воды в начальной части лотка принимается весьма большой — до 2,5 и даже до 4,5 *м/сек*; при переходе воды во вторую часть лотка, имеющую меньший уклон, происходит резкое изменение скоростей и увеличение глубины воды и образуется стоячая волна, обеспечивающая интенсивное перемешивание.

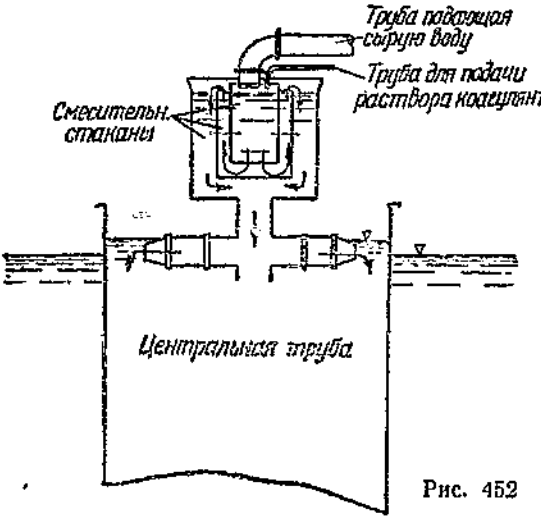


Рис. 452

Стаканчатый смеситель, имеющий применение на относительно малых установках (рис. 452), устанавливается непосредственно у входа воды в центральную трубу вертикального отстойника. Смешение основано на прохождении воды между стенками цилиндров с резким изменением направления движения.

Смесители мешалочного типа основаны на механическом перемешивании воды с введенным в нее коагулянтом.

На рис. 453 показан «пропеллерный» механический смеситель. При помощи горизонтально расположенного пропеллера создается циркуляция воды в камере смесителя, как это показано стрелками.

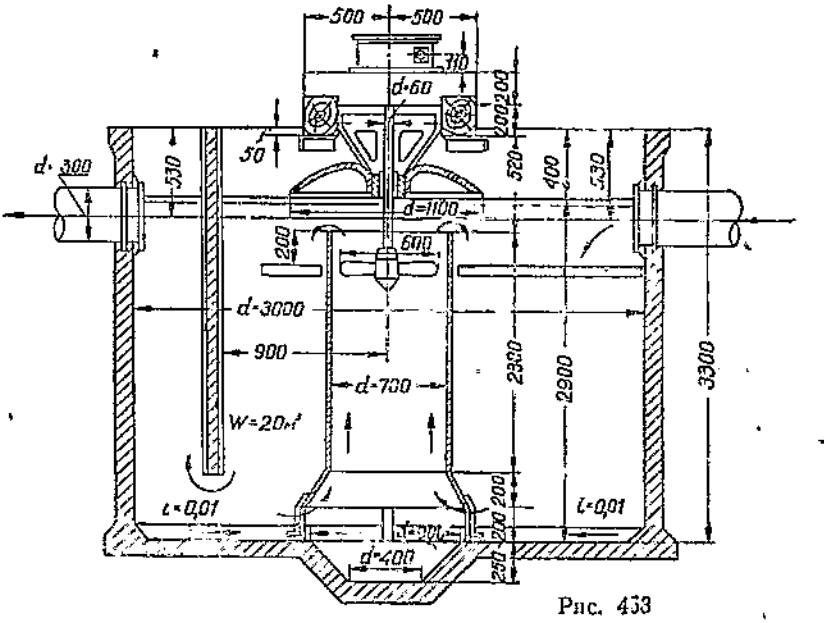


Рис. 453

Механические смесители особенно удобны при необходимости последовательного введения в воду нескольких реагентов. В этом случае последовательно устанавливается несколько механических смесителей.

В некоторых установках смешивание реагентов с водой осущест-

вляется без специальных смесителей путем впуска раствора реагента во всасывающую трубу насоса (рис. 454) или в напорную трубу, подающую воду в камеру реакции (или отстойник) (рис. 455). Первый способ дает хорошее перемешивание, но не всегда применим из-за условий компоновки сооружений и неудобств, связанных с подачей

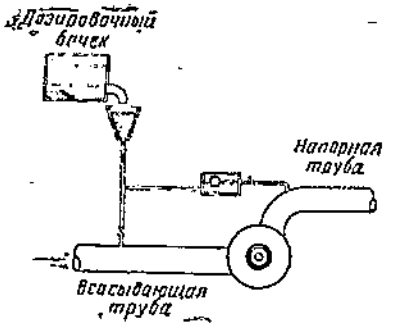


Рис. 454

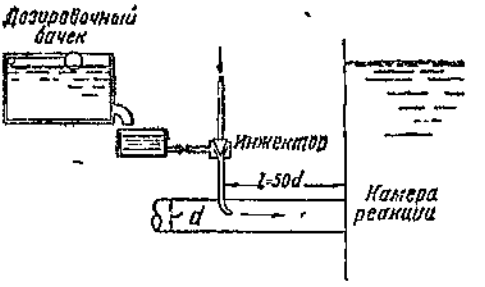


Рис. 455

реагента к насосам I подъема, часто далеко отстоящим от основного узла очистных сооружений, а также ввиду возможных осложнений в работе центробежных насосов. При втором способе расстояние от впуска реагента до камеры реакции должно быть не менее $50d$, где d — диаметр трубы, подающей воду.

§ 93. Камеры реакции

Назначение камер реакции (камер хлопьеобразования) — обеспечить завершение образования хлопьев коагулянта. Процесс хлопьеобразования, начинающийся в момент смешения воды с реагентом, протекает медленно и для получения хлопьев надлежащей величины (5—10 в 1 $см^3$ воды) требуется 15—30 мин. Процессу хлопьеобразования способствует плавное перемешивание воды.

Скорость движения воды при перемешивании должна быть достаточной для предотвращения выпадения хлопьев и частиц коагулянта в пределах камеры, но не настолько большой, чтобы вызвать разбивание образовавшихся хлопьев. Поэтому скорость движения воды в камерах реакции принимается 0,2—0,3 *м/сек* для воды с малым содержанием взвеси и 0,3—0,4 *м/сек* для воды с большим содержанием взвеси. Скорость более 0,6 *м/сек* недопустима, так как разрушает хлопья коагулянта.

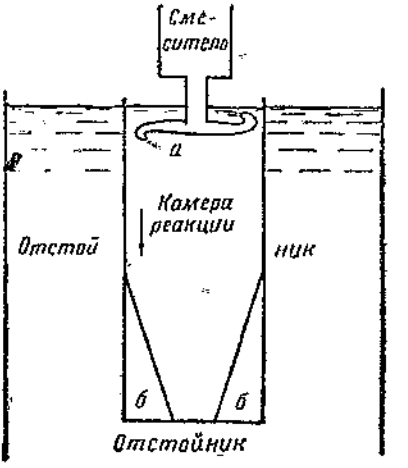


Рис. 456

Камеру реакции устраивают как самостоятельное сооружение или объединяют конструктивно с вертикальными отстойниками, располагая в виде широкой центральной трубы внутри отстойника.

Наибольшее распространение имеют камеры реакции следующих типов: а) водоворотные б) перегородчатые, в) лопастные.

На рис. 456 представлена схематически камера водоворотного типа, совмещенная с вертикальным отстойником и расположенная внутри его. Вода поступает через неподвижное сегнерово колесо a и направ-

ляется двумя струями по касательным к цилиндрическим стенкам трубы со скоростью 2,5—3,5 *м/сек*. Подобный способ подачи воды обеспечивает винтообразное движение воды в верхней части камеры. В нижней ее части устраивается гаситель в виде вертикальных радиально расположенных перегородок, переводящих винтовое движение в поступательное, или в виде решетки из поставленных на ребро досок *б*. Время пребывания воды в такой камере обычно принимается в 15 мин. Водоворотные камеры устраиваются и в виде самостоятельного сооружения, не связанного с отстойником.

Пример расчета. Рассмотрим случай применения камеры реакции, совмещенной с вертикальным отстойником.

Если заменить центральные трубы отстойников камерами реакции, то суммарная площадь всех камер будет:

$$\omega_2 = \frac{qt}{60H_1},$$

где t — время пребывания воды в камере в минутах;
H_1 — высота камеры;
q — часовая производительность отстойников, равная 1 383 *м³/час*.
Принимаем $t = 15$ мин. и $H_1 = 0{,}9H = 0{,}9 \cdot 6 = 5{,}4$ *м*.

Тогда

$$\omega_2 = \frac{1\,383 \cdot 15}{60 \cdot 5{,}4} \approx 64 \text{ м}^2.$$

Суммарная площадь отстойников будет: $\omega = \omega_1 + \omega_2 = 572 + 64 = 636$ *м²*.

При общем числе отстойников $n = 6$ площадь одного отстойника $\omega_0 = \frac{\omega}{n} = \frac{636}{6} = 106$ *м²* и его диаметр

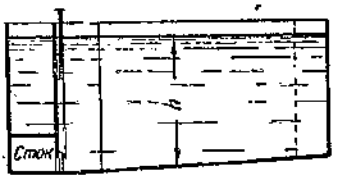
$$D = \sqrt{\frac{106 \cdot 4}{3{,}14}} \approx 11{,}7 \text{ м}.$$

Площадь одной камеры $\omega_0' = \frac{\omega_2}{n} = \frac{64}{6} = 10{,}6$ и ее диаметр

$$d = \sqrt{\frac{10{,}6 \cdot 4}{3{,}14}} \approx 3{,}7 \text{ м}.$$

Перегородчатые камеры представляют собой резервуары с расположенными в них перегородками, которые вода обтекает при своем движении.

При этом существуют камеры, имеющие горизонтальное направление течения воды (рис. 457) и камеры с вертикальным попеременно восходящим и нисходящим движением воды (рис. 458). Эти камеры конструируются так, чтобы можно было изменять длину пути, а следовательно, и время пребывания воды в них, путем устройства промежуточных точек отвода воды. Камеры устраиваются железобетонными; для удобства выпуска осадка дно ее делают с уклоном. Объем камеры определяют, исходя из указанного выше времени пребывания в ней воды и количества обрабатываемой воды.



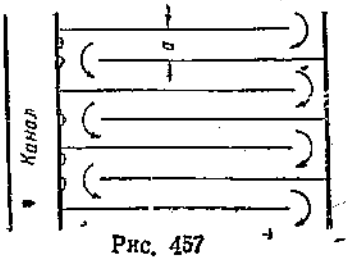


Рис. 457

Скорость движения воды принимают в 0,2—0,3 *м/сек*.

Для вертикальных камер, задаваясь высотой камеры H, опреде-

ляют площадь ее $\Omega=\frac{W}{H}$, где W — полный объем камеры. Площадь одной секции камеры $\omega=\frac{q}{v}$, где q — секундный расход и v — скорость поступательного движения воды.

Для горизонтальных камер реакции площадь коридора, образуемого перегородками, $S=\frac{q}{vH}$.

Потеря напора определяется по формуле:

$$h=n\xi\frac{v^2}{2g}+h_T,$$

где $\xi=3$; n — число коридоров и h_T — потеря на трение по всей длине камеры.

В лопастных камерах реакции перемешивание воды достигается вращением специальных мешалок, приводимых в движение электромотором. Различают лопастные камеры с вертикальной и с горизонтальной осью вращения.

Первые представляют собой железобетонные резервуары, рассчитанные на 20—30-минутное пребывание в них обрабатываемой воды. В центре камеры располагается вертикальная ось с сидящими на ней лопастями. Как показано схематически на рис. 459, лопасти могут сидеть вертикально (рис. 459, *а*), обусловливая вращательное движение воды, иметь наклон к горизонту (рис. 459, *б*), создавая вращательно-поступательное движение воды, и, наконец, иметь вид пропеллера (рис. 459, *в*), создавая в камере поступательное движение воды. Скорость движения воды в камере принимается 0,2—0,5 *м/сек*.

Обычно устанавливается две пары лопастей. Площадь лопастей (суммарная) принимается для камер по

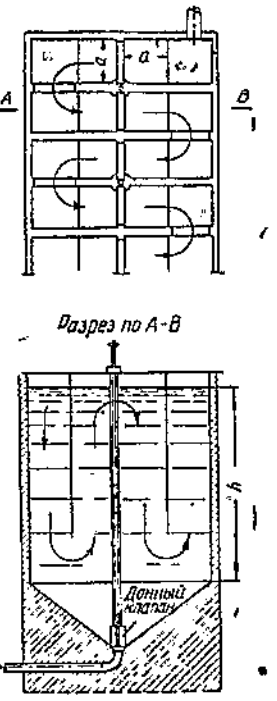


Рис. 458

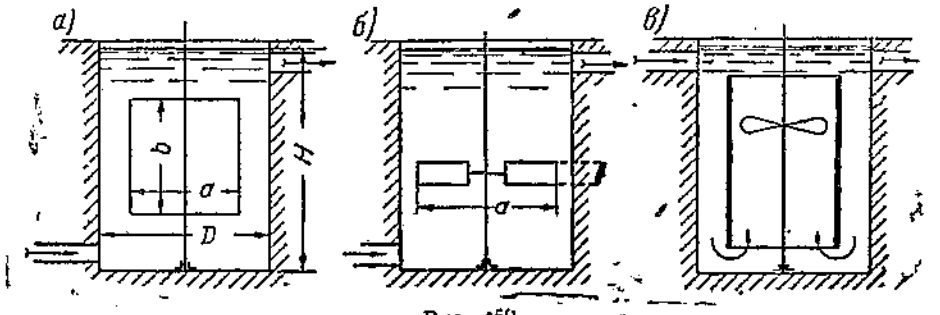


Рис. 459

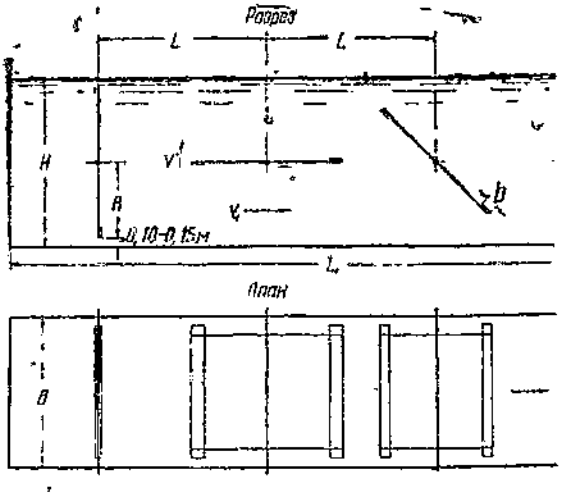


Рис. 460

рис. 459, *а* в (0,25—0,33) *DH*, для камер по рис. 459, *б* — 0,0140 *DH*.

Расстояние между крайними точками лопастей $a = (0{,}5 \div 0{,}75)D$.

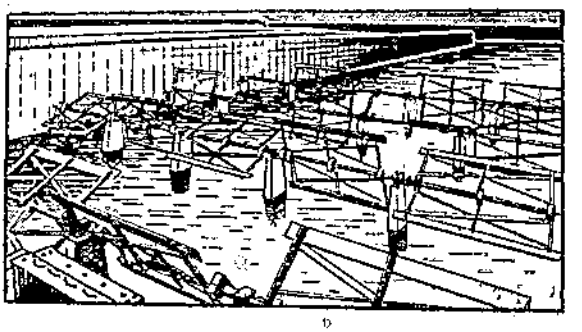


Рис. 461

Лопастная камера реакций с горизонтальной осью (флокулятор) показана схематически на рис. 460 и представляет собой горизонтальный железобетонный бассейн с расположенными в нем мешалками, имеющими горизонтальную ось вращения. На рис. 461 представлена такая камера на водопроводе г. Ричмонд (США).

§ 94. Общие принципы фильтрования воды

Фильтрованием называется процесс, при котором очищаемая вода проводится через слой фильтрующего материала. Фильтрование, так же как и отстаивание, применяется для осветления воды, т. е. задержания находящихся в воде взвешенных частиц. Фильтрующий материал должен представлять собой пористую среду с весьма малым сечением пор.

В водопроводной практике в качестве основного фильтрующего материала применяется песок. Лучшим для этой цели является речной кварцевый песок.

Обычный песчаный фильтр — это резервуар с двойным дном (рис. 462); верхнее дно — дренажное (пропускающее воду) — поддерживает слой фильтрующего материала.

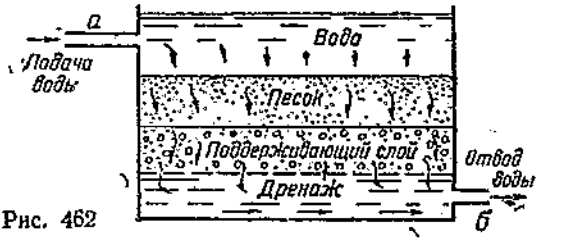


Рис. 462

Непосредственно над дренажем располагаются слои щебня и гравия, причем каждый вышележащий слой состоит из зерен меньшего размера, чем соседний нижележащий слой. На гравий насыпается песок, величина зерен которого постепенно уменьшается при переходе от нижних слоев к верхним.

Подобное устройство создает поддерживающую конструкцию для верхних слоев мелкого песка, являющегося фильтрующим материалом, так как постепенное увеличение размеров зерен нижележащих слоев песка и гравия предотвращает вынос с водой мелкого песка.

Вода подается на фильтр по трубе *а* под уровень воды, стоящей над поверхностью фильтра, идет через слои фильтрующего материала и, пройдя дренаж, отводится по трубе *б* (рис. 462).

Эффект задержания фильтром взвешенных частиц, содержащихся в воде, зависит от размеров этих частиц, от крупности зерен песка (верхнего слоя) и от скорости фильтрации.

Под скоростью фильтрации следует понимать не истинную скорость прохождения воды в промежутках между зернами песка, а вертикальную скорость столба воды, проходящего через поверхность фильтра.

Скорость фильтрации $v = \frac{Q}{\omega}$, где Q — количество проведенной через фильтр воды и ω — площадь фильтра.

Чем меньше скорость фильтрации и чем меньше размер зерен песка, тем меньшие по размеру частицы взвеси будут задерживаться фильтром и, следовательно, тем больше будет эффект осветления воды.

Песок, употребляемый в качестве фильтрующего материала, состоит из зерен различной крупности. Для характеристики песка американский инж. А. Hazen предложил следующий метод, пользующийся в настоящее время большим распространением. Песок просеивается через ряд сит с различными размерами ячеек и отсев после каждого сита взвешивается. Размер отверстий сита, которое пропускает 10% всего песка, определяет так называемый «эффективный размер» зерен песка.

Неравномерность состава песка характеризуется «коэфициентом однородности», равным отношению диаметра отверстий сита, пропустившего 60% всего песка, к диаметру отверстий сита, пропустившего 10%.

Зависимость между размерами частиц песка, величиной задерживаемых частиц взвеси, и скоростью фильтрации выражена инж. Hazen в следующей формуле:

$$d = c\sqrt{ve},$$

где d — диаметр наименьших частиц, задерживаемых фильтром; e — эффективный размер зерен песка; v — скорость фильтрации; c — коэфициент пропорциональности, равный 0,0095.

Вода после простого отстаивания (без коагулирования), поступая на фильтр, содержит очень мелкие частицы взвеси. Для их задержания необходимо применение мелкого песка и малых скоростей фильтрации. Вода, фильтруемая после отстаивания с коагулированием, содержит хлопьевидные частицы, укрупняющие размеры частиц естественной мути; эти хлопья относительно велики. Для их задержания на фильтре можно использовать большие скорости фильтрации и более крупнозернистый песок.

Поэтому существуют два принципа фильтрации: фильтрация при малых скоростях — так называемая «медленная фильтрация», и фильтрация при больших скоростях — «скорая фильтрация». И в том и в другом случае в работе фильтра могут быть намечены следующие основные периоды.

Первый период имеет место при пропуске воды через слой еще совершенно чистого песка. Песок задерживает лишь наиболее крупные частицы, которые не могут пройти между его зернами. Мелкие частицы проходят через песок и выносятся с водой. Этот период характеризуется тем, что фильтрат еще не обладает достаточной степенью осветления. По мере накопления на поверхности песка и в канальцах между его зернами частиц осевшей мути фильтрующая способность фильтра возрастает. Осевшие частицы мути, обладая размерами меньшими, чем размер зерен песка, составляют как бы дополнительный слой фильтрующего материала и в свою очередь начинают задерживать еще более мелкие частицы взвеси. Таким образом по мере работы фильтра на нем нарастает из осевших частиц мути пленка («фильтрующая пленка», «биологическая пленка»), которая способствует задержанию фильтром мельчайших взвешенных частиц и бактерий. Второй период работы фильтра — при уже «созревшей» пленке — характеризуется высоким качеством фильтрата.

Однако, постепенно уплотняясь, пленка увеличивает сопротивление фильтра. Когда сопротивление возрастет настолько, что столб воды над фильтром станет недостаточен для преодоления сопротивлений в фильтре, возникает необходимость чистки фильтра.

Чистка фильтра составляет последний, третий период в цикле его работы. Длительность этих периодов и методы очистки фильтров зависят от того, применяется медленная или скорая фильтрация.

§ 95. Медленные фильтры

Медленные фильтры, называемые часто «английскими» по месту их первого применения, употребляются для фильтрования некоагулированной воды, содержащей относительно мелкую взвесь.

Обычные скорости фильтрации, применяемой на медленных фильтрах:

$$v = 0{,}1 \div 0{,}2 \ м/час.$$

При столь малой скорости фильтрации медленные фильтры должны иметь весьма большую площадь. Это обусловливает их большую строительную стоимость. Медленные фильтры представляют собой бетонные или кирпичные резервуары, обычно подземные. На дренаж, имеющий различное конструктивное оформление (дырчатые плитки, дырчатые черепицы, дырчатые гончарные трубы и т. п. — рис. 463)

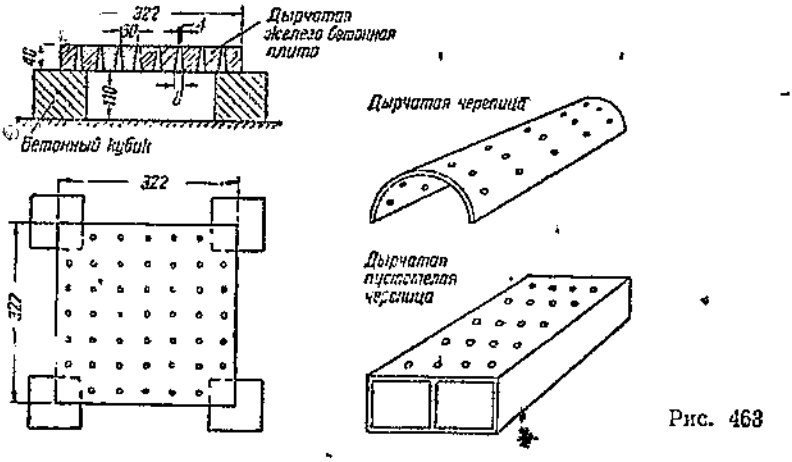


Рис. 463

укладывается слой гравия или щебня высотой 0,35—0,50 *м;* на слое гравия лежит слой песка с эффективной величиной зерна 0,25—0,35 *мм*, высотой 1—1,25 *м*. Горизонт воды находится на 1,20 *м* выше поверхности песка. Малая скорость фильтрации и малые размеры частиц взвеси способствуют медленному созреванию фильтрующей пленки в течение 1—2 суток. Второй период — нормальная работа фильтра от момента окончания созревания пленки до момента очистки в медленных фильтрах — продолжается 1—2 месяца. Очистка медленного фильтра при большой его площади представляет громоздкую операцию и обходится дорого.

Очистка фильтра производится снятием вручную загрязненного верхнего слоя песка толщиной 1—2 *см*. Песок пополняется примерно 1 раз в год.

На рис. 464 показано устройство английского фильтра.

Медленные (английские) фильтры были первыми типами фильтров, которые начали применяться в водопроводной практике. Достоинство их — весьма высокая степень осветления воды и высокий процент задержания бактерий. Недостатки — значительная строительная стоимость, большие размеры требуемой для их устройства площади и, наконец, сложный, дорогой и несовершенный с санитарной точки зрения метод очистки песка.

В силу этих соображений в настоящее время в СССР английские фильтры не строятся. Высокий же эффект устранения бактерий с успе-

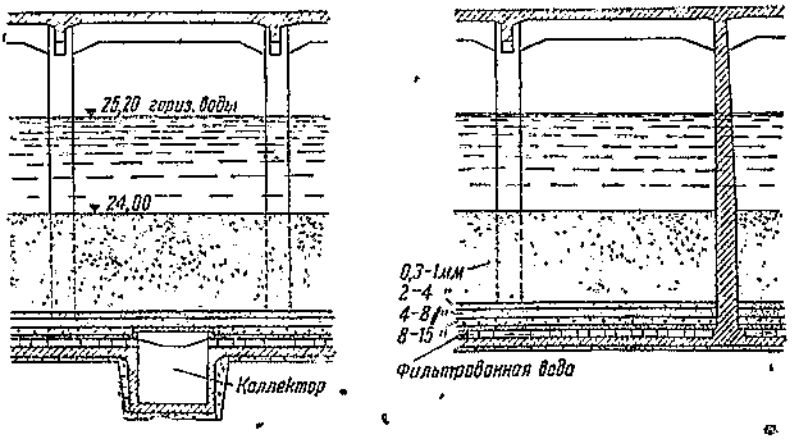


Рис. 464

хом достигается более простым и дешевым средством — путем дезинфекции воды, прошедшей скорые фильтры.

§ 96. Принцип работы скорых фильтров

«Скорые» или «американские» фильтры работают в основном по тому же принципу, как и медленные, но скорость фильтрации в них принимается в 40—50 раз больше и равна 4,5—6 *м/час*.

В силу этого скорые фильтры имеют меньшую по сравнению с медленными, площадь и меньшую строительную стоимость. Скорые фильтры применяются для задержания более крупных частиц взвеси, ввиду чего этим фильтрам обычно предшествует отстаивание с коагулированием.

Благодаря более крупным размерам частиц взвеси в поступающей на фильтр воде, в скорых фильтрах возможно использование более крупнозернистого песка, чем в медленных фильтрах. В скорых фильтрах применяется песок с эффективной величиной зерен 0,35—0,5 *мм* при коэфициенте однородности не более 1,6.

На скорых фильтрах быстрее созревает пленка и быстрее наступает засорение фильтра, требующее его промывки. При прохождении воды через скорый фильтр в 40—50 раз быстрее, чем через медленный, примерно во столько же раз сокращается период между очистками. Опыт работы со скорыми фильтрами показывает необходимость чистки их 1—2 раза в сутки. При столь частой очистке фильтра весьма важно сократить до минимума время, необходимое для очистки.

Существует несколько методов очистки скорых фильтров. Все они основаны на промывке фильтрующего материала обратным током чистой воды, подаваемой снизу через дренаж и проходящей через слой гравия и песка. Для промывки употребляется уже очищенная вода. Благодаря тому, что скорость движения промывной воды принимается в несколько раз больше, чем скорость фильтрации, вода, проходя через песок, взмучивает его, перемешивает, промывает и уносит всю взвесь, осевшую на поверхности фильтра и в толще песка.

Промывная вода, уносящая муть, сбрасывается в водосток. Промытый и очищенный песок оседает и снова используется для фильтрации. Для улучшения промывки песка одновременно с подачей промывной воды в некоторых системах фильтров применяют перемешива-

ние песка механическими граблями. В других системах фильтров одновременно с промывкой водой в толщу песка для его перемешивания вдувают сжатый воздух.

Наконец, в третьей системе фильтров подают промывную воду со столь значительными скоростями, что перемешивание песка достигается без какого-либо дополнительного механического перемешивания.

В соответствии с этим различают системы скорых фильтров: а) мешалочные фильтры, б) безмешалочные фильтры (с продувкой воздухом или без продувки).

В последнее время наибольшее распространение получили безмешалочные фильтры (без продувки), отличающиеся хорошим качеством промывки, простотой оборудования и позволяющие применять фильтры прямоугольной в плане формы; последнее обстоятельство позволяет располагать их рядом и тем уменьшать площадь здания фильтровальной станции, а следовательно, и его стоимость.

Рассмотрим ниже различные системы фильтров, принципы их расчета и конструктивные особенности.

§ 97. Мешалочные фильтры

Скорость фильтрации на скорых фильтрах составляет 4,5—6,0 *м/час*, что соответствует «нагрузке» 1,25—1,7 *л/сек* на 1 $м^2$ поверхности фильтра. При промывке скорость подачи воды через фильтрующие слои увеличивается на мешалочных фильтрах приблизительно в 4 раза. Это соответствует количеству промываемой воды или так называемой «интенсивности промывки» — 5—6 *л/сек* на 1 $м^2$ поверхности фильтра. Для

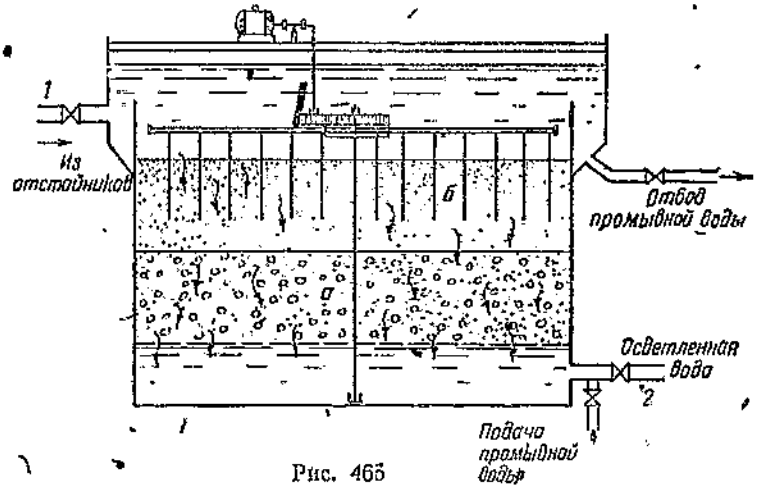


Рис. 465

надлежащего эффекта очистки песка при такой интенсивности промывки требуются вспомогательные меры. В мешалочных фильтрах такой мерой является перемешивание слоев песка во время промывки специальными граблями.

Схема мешалочного фильтра дана на рис. 465. Мешалочный фильтр представляет собой металлический или железобетонный цилиндр, имеющий в нижней своей части дренаж той или иной конструкции. На рис. 465 показана загрузка фильтра: *а* — поддерживающие слои гравия и *б* — песок. Общая высота фильтра с учетом высоты отдельных составных частей составляет 3—3,5 *м*.

На рис. 466 представлен мешалочный фильтр системы «Джуэль». Фильтры этой системы в СССР установлены и работают на ряде очистных станций. Эти фильтры имеют уширенную верхнюю часть, устроен-

ную в виде концентрически расположенного внешнего желоба с удлиненной наружной стенкой. На рис. 465 представлен схематически мешалочный фильтр в рабочем состоянии. Вода подается по трубе *1* в верхнюю уширенную часть фильтра под уровень воды, проходит слои песка и гравия, дренажное дно и из поддонного пространства отводится по трубе *2*.

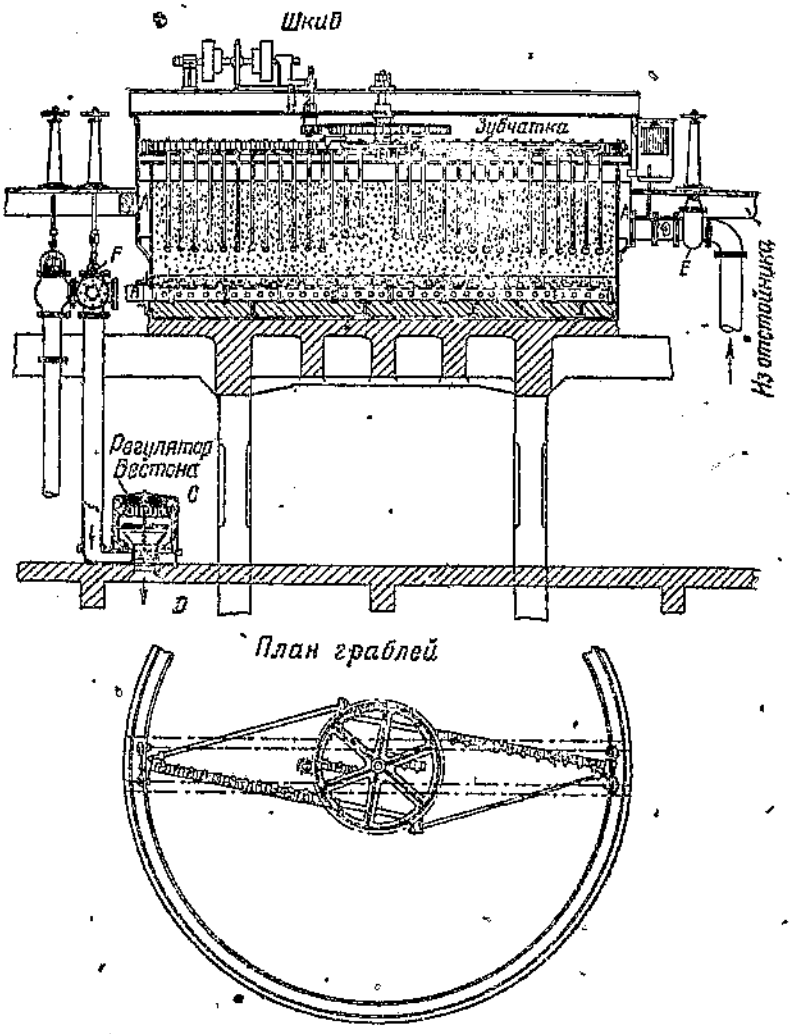


Рис. 466

Для чистки фильтр выключается из работы, вода с него спускается и под дренаж подается промывная вода из запасного напорного бака или специальными насосами. После пуска промывной воды приводят в движение грабли. Металлические зубцы крестообразно расположенных грабель промешивают почти всю толщу взмученного водой песка, помогая его промывке. Зубцы сидят на расстоянии около 20 *см* друг от друга и расположены таким образом, чтобы каждый зубец имел различное расстояние до центра вращения грабель и, следовательно, проводил свою собственную борозду в песке.

Мешалки приводятся в действие мотором, располагаемым на каждом фильтре, или через шкив от общего трансмиссионного вала. Число оборотов 10—12 в минуту.

Совместным действием воды и грабель вся муть, осевшая на поверхность песка и в его верхних слоях, уносится и уходит вместе с промывной водой. Отвод промывной воды в фильтрах системы «Джуэль» осуществляется путем перелива ее через борт желоба (рис. 466), образуемого верхней уширенной частью фильтра. Из этого кольцевого желоба промывная вода отводится в водосток.

Кромка желоба, через которую переливается уходящая промывная вода, должна быть расположена на такой высоте, над уровнем песка, чтобы частицы песка, поднимаемые вверх токами промывной воды, не уносились из фильтра.

Ниже приводятся необходимые расчеты для определения высоты расположения кромки сливного желоба.

Диаметры мешалочных фильтров обычно не превышают 3—4 *м*. Длительность промывки равна 8—10 мин.

К достоинствам мешалочных фильтров относится надежность промывки песка, относительно небольшие диаметры труб для подачи и отвода промывной воды, а в случае подачи ее насосами — незначительная мощность насосных агрегатов.

Недостатками этих фильтров являются: относительная сложность обслуживания, наличие дополнительных механизмов (по сравнению с безмешалочными фильтрами), ограниченность размеров отдельных фильтров и, наконец, их круглая в плане форма, вызываемая наличием мешалок, и увеличивающаяся площадь фильтровальной станции ввиду невозможности установки отдельных фильтров впритык. Мешалочные фильтры встречаются преимущественно на станциях небольшой производительности.

У нас в СССР мешалочные фильтры за последнее время вновь не строятся и вытесняются безмешалочными фильтрами.

§ 98. Фильтры с продувкой воздухом

В этих фильтрах механическое перемешивание песка во время промывки осуществляется вместо грабель сжатым воздухом, вдуваемым в толщу песка.

Иногда продувку воздухом ведут одновременно с подачей промывной воды, иногда последовательно, причем продувка предшествует промывке.

В первом случае суммарное количество воды и воздуха, подаваемых на фильтр, не должно превышать 10—15 *л* на 1 $м^2$ поверхности фильтра (в том числе 5—10 *л* воздуха).

При последовательной подаче воздух подается в количестве 15—20 $л/м^2$ в течение около 3 мин. и затем производится промывка с обычной для мешалочных фильтров интенсивностью в течение 4—8 мин.

§ 99. Безмешалочные фильтры

Очистка песка безмешалочных фильтров производится усиленной промывкой без каких-либо вспомогательных средств для механического ворошения песка.

Интенсивность промывки в безмешалочных фильтрах в 2—$2^1/_2$ раза больше, чем в фильтрах мешалочных, и составляет 10—15 $л/сек$ на 1 $м^2$ площади фильтра. Продолжительность промывки — около 5 мин., т. е. примерно вдвое меньше, чем в мешалочных фильтрах. Таким образом, несмотря на увеличенную интенсивность промывки по сравнению с мешалочными фильтрами, общий расход воды на промывку не увеличивается. Отсутствие мешалок позволяет делать эти фильтры

прямоугольного очертания в плане. Схема работы фильтра остается та же, что и в мешалочных фильтрах. В отношении отвода промывной воды имеются некоторые отличия.

В безмешалочных фильтрах промывная вода отводится при помощи желобов, подвешенных на определенной высоте над поверхностью песка (рис. 467). В зависимости от размеров фильтра в нем может быть один желоб (при площади фильтра до 10 $м^2$) с непосредственным отводом из него воды (рис. 468, *а*); несколько желобов, примыкающих к боковому сборному желобу, проложенному вдоль длинной стороны фильтра при площади фильтра до 40 $м^2$ (рис. 468, *б*), и, наконец, центральный желоб, собирающий воду от нескольких желобов, — при площади фильтра более 40 $м^2$ (рис. 468, *в*).

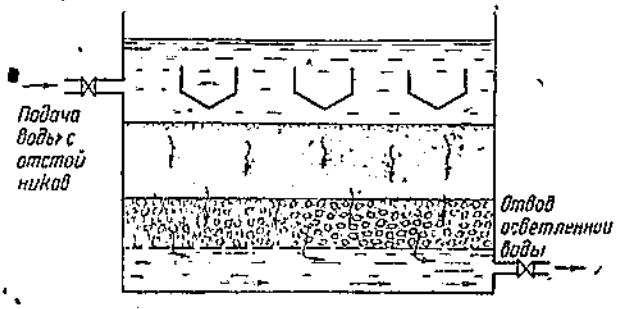


Рис. 467

На рис. 467 показана схема безмешалочного фильтра при его нормальной работе и на рис. 469 — во время промывки. К достоинствам безмешалочных фильтров относятся: экономия площади фильтровальной станции, благодаря возможности располагать отдельные фильтры впритык, простота обслуживания, отсутствие механического оборудования для перемешивания песка. Недостатком этого типа фильтров является увеличение диаметров труб, подводящих и отводящих промывную воду, и большая мощность промывного насоса.

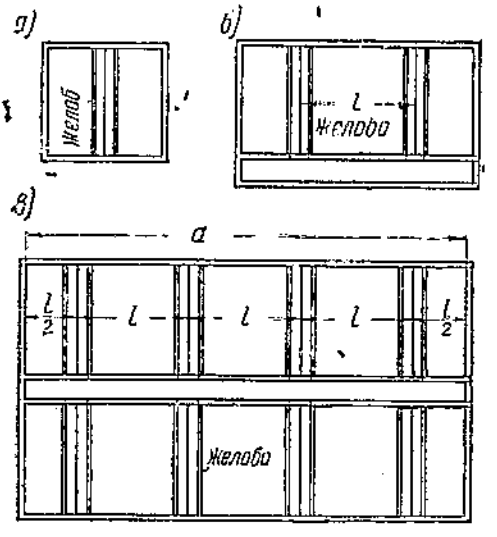


Рис. 468

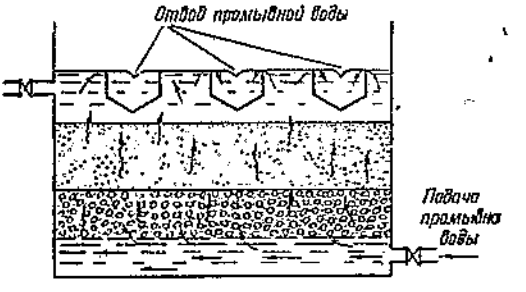


Рис. 469

§ 100. Дренаж скорых фильтров, его расчет и конструкция

Дренаж должен обеспечить равномерный по всей поверхности фильтра отвод фильтрующейся воды и, что еще более важно, равномерное распределение по площади фильтра промывной воды (ввиду ее больших скоростей).

Кроме того, конструкция дренажа не должна допускать его засорения, а также выноса песка с фильтра.

Равномерность подачи промывной воды, т. е. одинаковая интенсивность промывки по всей поверхности фильтра, может быть достигнута мероприятиями, основанными на различных принципах. В современной практике наибольшее применение имеют дренажи большого сопротивления.

Принцип устройства этой системы дренажа основан на следующих соображениях.

На рис. 470 дан схематически вертикальный разрез фильтра. Вода, подаваемая для промывки, идет по распределительной системе (междудонное пространство или распределительные трубы) и проходит последовательно дренаж (точнее, отверстия в дренажных устройствах), слой гравия или щебня и слой песка. Рассмотрим два произвольно выбранных пути промывной воды от точки ввода до поверхности фильтра.

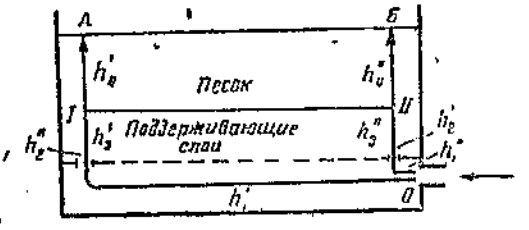


Рис. 470

Одинаковая интенсивность промывки в пунктах A и $Б$ поверхности фильтра может быть обеспечена только в том случае, если на пути $OA(I)$ и $OB(II)$ вода будет встречать равные сопротивления. Суммарное сопротивление на каждом из намеченных путей воды будет слагаться из сопротивления в распределительной системе дренажа s_1, сопротивления в отверстиях дренажа s_2, сопротивления в поддерживающем слое s_3 и сопротивления в слое песка s_4.

Сопротивления s_3 и s_4 в различных местах фильтра не одинаковы ввиду неравномерного загрязнения песка и неоднородности состава поддерживающего слоя. Сопротивление в распределительной системе h_1 различно на путях I и II благодаря различной их длине.

Таким образом величины суммарных сопротивлений на пути I:

$$\sum(s) = s_1' + s_2 + s_3' + s_4'$$

на пути II:

$$\sum(s)_{II} = s_1'' + s_2 + s_3'' + s_4''$$

будут при промывке фильтра неодинаковы.

Суммарные потери напора на тех же путях H_1 и H_2 будут равны, так как давление в начальной точке этих путей (в точке O) одинаково, а также одинаковы и давления в конечных точках, лежащих в плоскости горизонта воды на фильтре в период промывки.

Потеря напора на всем пути воды может быть представлена в виде:

$$H = \sum(s)\, q^2,$$

где $\Sigma(s)$ — суммарное сопротивление, отнесенное к единице поверхности фильтра;

q — интенсивность промывки.

Для путей I и II соответственно получим:

$$H_I = \sum(s)_I\, q_I^2$$

и

$$H_{II} = \sum(s)_{II}\, q_{II}^2;$$

так как $H_I = H_{II}$

$$\sum (s)_I q_I^2 = \sum (s)_{II} q_{II}^2,$$

откуда

$$\frac{q_I}{q_{II}} = \sqrt{\frac{\sum (s)_{II}}{\sum (s)_I}} = \sqrt{\frac{s_1'' + s_2 + s_3'' + s_4''}{s_1' + s_2' + s_3' + s_4'}};$$

так как

$$\sum (s)_I \neq \sum (s)_{II}, \quad \text{то} \quad q_I \neq q_{II},$$

т. е. интенсивность промывки в отдельных местах фильтра неодинакова и, следовательно, требуемая равномерность промывки не обеспечивается.

Увеличивая в дроби, стоящей под корнем в правой части последней формулы величины s_2, получим величину дроби, стремящуюся к единице.

Чем больше будет относительная величина s_2, тем более равномерной будет промывка фильтра. С этой целью применяют конструкцию дренажа, имеющего большую величину гидравлического сопротивления в отверстиях.

Задача расчета и конструирования дренажа большого сопротивления сводится к нахождению такого сопротивления дренажа, которое обеспечивает требуемую равномерность промывки фильтра при условии, что потери напора в дренаже не будут слишком велики при нормальной работе фильтра.

Практически установлено, что суммарная площадь отверстий дренажа в 0,2—0,3% от площади фильтра обеспечивает достаточную равномерность промывки. Обычно считают допустимой степень неравномерности промывки в 4—5%.

Принимая интенсивность промывки в 10—15 *л/сек* на 1 $м^2$ площади фильтра, получим скорость истечения из отверстий при условии, что суммарная площадь отверстий составляет 0,2% от площади фильтра

$$v = \frac{0{,}01\ м^3/сек}{0{,}002 \cdot 1\ м^2} = 5\ м/сек$$

или, учитывая коэфициент расхода $\mu = 0{,}62$,

$$v = \frac{5}{0{,}62} \approx 8\ м/сек.$$

Столь большие скорости истечения заставляют предусматривать в конструкции дренажа гашение этой скорости, чтобы предотвратить нарушение слоев гравия и песка. Соответствующий такой скорости напор, который должен иметь место в системе дренажа перед истечением, будет:

$$\frac{v^2}{2g} = 3{,}2\ м \text{ вод. ст.}$$

Обычно эта величина колеблется в пределах от 1,5—до 3,5 *м*.

В современной практике наиболее употребительны следующие системы дренажа большого сопротивления: 1) трубчатый, 2) сосунковый, 3) шаровой, 4) гребенчатый.

Трубчатый дренаж представляет систему труб, укладываемых по дну фильтра под слоем гравия или щебня. На каждое отделение фильтров устраивается одна магистральная труба с присоединяемыми к ней с обеих сторон ответвлениями в виде труб меньшего диаметра (рис. 471).

В этих последних имеются дренажные отверстия, расположенные в шахматном порядке и направленные вниз, под углом около 45° к вертикали (рис. 472). Струи воды, вытекающие из отверстий, ударяются в дно фильтра и, отражаясь, создают равномерные восходящие

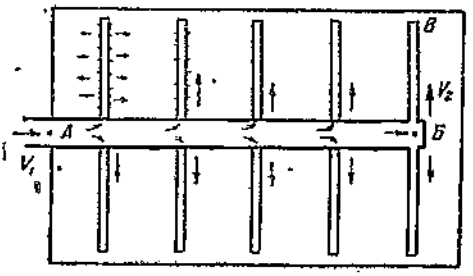


Рис. 471

Рис. 472

токи воды в толще поддерживающего материала и песка. Суммарная площадь отверстий, как отмечалось, составляет 0,2—0,3% от площади фильтра.

Правила проектирования фильтровальных станций, одобренные IV Всесоюзным водопроводным съездом, предлагают отношение площади отверстий к площади фильтра $\frac{\Omega_{отв}}{\Omega_ф} = k$ принимать не более 0,3%. Диаметр каждого отверстия рекомендуется принимать в пределах от 6 до 13 *мм*.

Система трубчатого дренажа должна быть запроектирована, исходя из необходимости иметь у всех отверстий по возможности одинаковый напор. Законы движения воды по дырчатым трубам мало изучены. Такие трубы имеют по длине постоянный диаметр и непрерывно меняющийся расход, а следовательно, скорость движения воды в них убывает от начальной точки к конечной. Опыты, проведенные проф. Н. Г. Малишевским в СССР и инж. Делари в США, показали, что в системах трубчатого дренажа необходимо считаться с явлением восстановления скоростного напора к концу расходующих воду участков труб, благодаря убыванию скорости.

Кроме того, обнаружено, что потери напора в дырчатых трубах значительно (в 5—6 раз) меньше, чем исчисляемые по формулам для случая равномерно распределенного расхода по длине трубы. В силу этого в большинстве случаев напор в конечных точках дренажных труб больше, чем в начальных

$$H_{кон} = H_{нач} + \alpha \frac{v^2}{2g} - h,$$

где α — коэфициент, показывающий, какая часть скоростного напора, соответствующего скорости в начальной точке, восстановлена; h — потеря напора на гидравлические сопротивления.

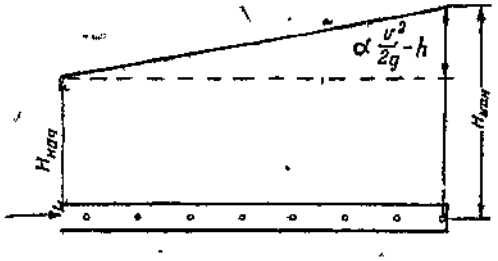


Рис. 473

Подобное соотношение напоров будет и в магистральной трубе, отдающей воду в ответвления, и в каждом из ответвлений, расходующих воду через отверстия.

Пьезометрическая линия в пределах перфорированных участков дренажных труб имеет уклон, обратный направлению хода воды (рис. 473).

Если обозначить скорость в начале магистрали через v_1, скорость в начале ответвления (одинаковую для всех ответвлений) через v_2 и потери на гидравлические сопротивления на всей длине магистрали через h_1 и на всей длине ответвления через h_2, то можно выразить напор в конечной точке последнего ответвления B (рис. 471) через напор в начальной точке магистрали A следующим образом:

$$H_B = H_A + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - h_1 + \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} - h_2.$$

Теоретически в точках A и B должна наблюдаться максимальная во всей системе разность давлений (и соответствующих им напоров H_A и H_B *м* вод. ст.).

Ввиду недостаточной изученности законов движения воды по перфорированным трубам невозможно точно установить значения коэфициентов α и величин потерь h. Опыты показывают, что степень восстановления скоростного напора в трубчатых дренажах значительна и близка к 100% от $\frac{v^2}{2g}$, что позволит с небольшой погрешностью принимать величины $\alpha = 1$. Потери напора в трубах дренажа обычно незначительны по сравнению с величиной восстановленного скоростного напора.

Пренебрегая ими для упрощения формулы, получим следующую зависимость между наибольшим и наименьшим напором в отдельных точках дренажа:

$$H_B = H_A + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}.$$

Проф. Н. Г. Малишевский на основании своих опытов полагает, что, приняв такую формулу, мы получим теоретическую максимальную разность напоров в отдельных точках дренажа, превосходящую не более чем на 15% действительную разность.

Величины H — это те напоры, под которыми будет происходить истечение из отверстий. Чем меньше разность $H_B - H_A$, тем равномернее интенсивность промывки фильтра. Задавшись обычно допускаемой неравномерностью промывки в 5%, можно определить напор у входа в магистраль, который должен быть обеспечен при промывке.

Величины интенсивности промывки, т. е. количества воды, поступающие на 1 $м^2$ поверхности фильтра и расположенных на этом месте отверстий дренажа (при их одинаковом размере и частоте расположения), пропорциональны корню квадратному из напоров, под которым происходит истечение. Таким образом

$$\frac{q_{min}}{q_{max}} = \frac{\sqrt{H_A}}{\sqrt{H_A + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}}},$$

или, задавшись допустимой степенью неравномерности промывки a%:

$$\frac{q_{min}}{q_{max}} = 1 - \frac{a}{100} = \beta,$$

откуда $$\frac{\sqrt{H_A}}{\sqrt{H_A + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}}} = \beta \quad \text{или} \quad \frac{H_A}{H_A + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}} = \beta^2;$$

$$H_A = \beta^2 H_A + \beta^2 \left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} \right); \quad (1 - \beta^2) H_A = \beta^2 \left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} \right)$$

или $$H_A = \frac{\beta^2}{1 - \beta^2} \left(\frac{v_1^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g} \right).$$

Обычно считают допустимой степень неравномерности подачи воды через отверстия трубчатого дренажа до 4—6%:

$$a=4\% \quad \beta=0{,}96 \quad \text{и} \quad \frac{\beta^3}{1-\beta^2}=11{,}5;$$

$$a=5\% \quad \beta=0{,}96 \quad \text{и} \quad \frac{\beta^2}{1-\beta^2}=9{,}0;$$

$$a=6\% \quad \beta=0{,}94 \quad \text{и} \quad \frac{\beta^2}{1-\beta^2}=7{,}3.$$

При выводе указанной формулы не учитывалось влияние поддерживающих слоев песка и воды над отверстиями дренажа.

При проектировании трубчатого дренажа обычно задаются значениями скорости в начальной точке магистрали $v = 1{,}2 \div 1{,}6$ *м/сек* и скорости в начальных точках ответвлений $v = 2{,}5$ *м/сек*.

Расстояние между осями ответвлений принимают в пределах 15—30 *см*.

Задаваясь отношением суммарной площади отверстий к площади фильтра в пределах $k = 0{,}002 \div 0{,}003$ и зная площадь фильтра $\Omega_ф$ (по расходу), определяют общую площадь отверстий $\Omega_{отв} = k\Omega_ф$. Задаваясь далее диаметром отверстия (в пределах 6—13 *мм*), определяют общее число отверстий на одно ответвление и расстояние между ними.

Напор, необходимый для создания надлежащей скорости истечения из отверстий в дренаже:

$$h=\frac{q^2}{100\mu^2k^2 2g},$$

где q — интенсивность промывки в *л/сек* на 1 *м*²; $\mu = 0{,}61$ — коэфициент расхода при истечении; k — отношение суммарной площади отверстий к площади фильтра.

Сосунковый дренаж. В СССР имеют применение две системы сосункового дренажа:

а) Система Джуэля, при которой промывная вода, так же как и при трубчатом дренаже, распределяется по системе труб (магистральной и ответвлениям), но излив воды происходит через специальные «сосунки», ввинчиваемые в отверстия в верхней поверхности ответвлений и представляющие собой коробочки, имеющие боковые стенки с мелкими отверстиями (рис. 474). Расчетным отверстием для каждого сосунка является отверстие патрубка, подающего воду в коробочку. Распределительная система труб, на которой располагаются «сосунки», заделывается в бетон под днищем фильтра, так что на поверхность выходят лишь сосунки. Площади стенок соседних сосунков расположены взаимно перпендикулярно для равномерного распределения воды по поверхности фильтра.

б) Сосунки системы Говатсона, представленные на рис. 475, заделываются в бетонные плитки и образуют второе (дренажное) дно фильтра. Вода для промывки подается в междудонное пространство, проходя по патрубкам *а*, поступает в шестигранную головку сосунка *б* и выходит из отверстий в ее стенках. За расчетную площадь одного сосунка принимается суммарная площадь боковых отверстий в его головке. На 1 *м*² площади фильтра обычно располагается около 40 сосунков.

Сравнивая трубчатые и сосунковые дренажи, можно отметить следующее. Преимуществом трубчатого дренажа является относительная простота его устройства, отсутствие изделий из цветных металлов; недостатком — наличие «мертвого» пространства над магистральной трубой и, следовательно, недостаточная интенсивность промывки над ней.

Для устранения этого недостатка иногда на магистральной трубе устанавливают сосунки или укладывают параллельную магистрали трубу меньшего диаметра с отверстиями или, наконец, помещают магистральную трубу ниже площади дна фильтра.

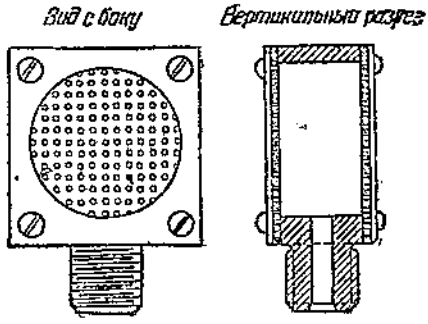


Рис. 474

Преимущества сосункового дренажа — возможность применения меньшей толщины поддерживающего слоя и отсутствие труб (при сосунках Говатсона); недостатки — более значительная стоимость, невысокая прочность и легкая засоряемость сосунков.

Шаровой дренаж (система Уилера) представляет систему призматических углублений в днище фильтра, заполненных шарами различного размера (рис. 476). Вода подается вертикально вверх из отверстий, устроенных в нижней части каждого пирамидального углубления, ударяется в нижний шар и, обтекая остальные шары, достаточно равномерно поднимается над основанием пирамиды. Последовательно уменьшающиеся шары дают постепенный переход к слоям естественного поддерживающего материала (щебня или гравия).

Шары делаются бетонными, фарфоровыми, керамиковыми. Диаметр дренажных отверстий делается больше, чем отверстий сосунков или в

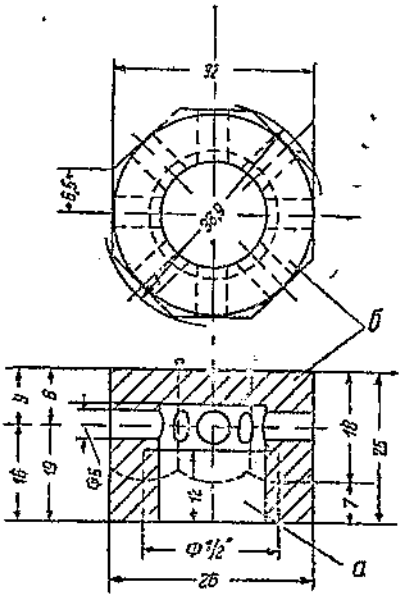


Рис. 475

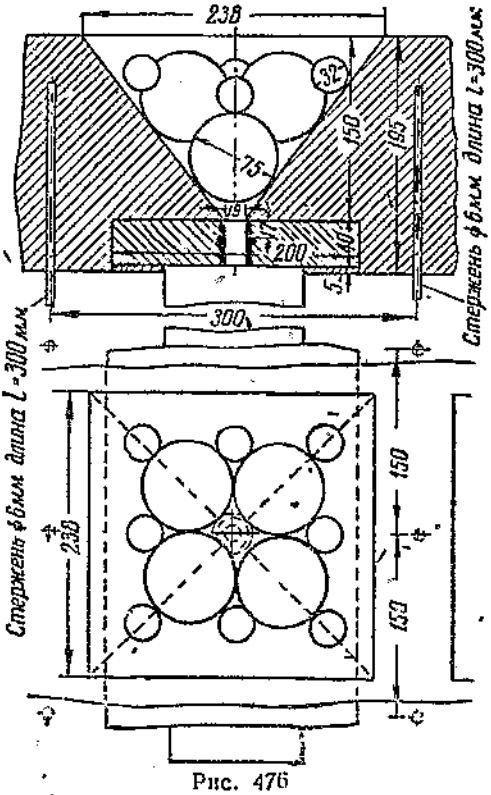


Рис. 476

трубчатом дренаже и доводится до 19 *мм*. В соответствии с этим расстояние между отверстиями увеличивается, а число отверстий уменьшается, достигая 11 на 1 $м^2$ площади фильтра.

Преимущество этого типа дренажа — отсутствие металлических частей; недостаток — значительная стоимость и значительное истирание бетонных шаров.

Гребенчатый дренаж представлен на рис. 477. Устройство его видно из рисунка.

Особый тип дренажа большого сопротивления показан на рис. 478 и 479.

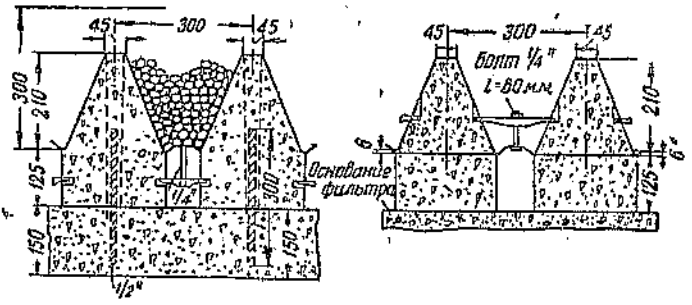


Рис. 477

Поддерживающие слои гравия покоятся на дренаже, состоящем из досок толщиной 25 *мм*, уложенных на ребро с прозорами, равными также 25 *мм*. Промывная вода подается в находящееся под этим дренажем междудонное пространство, заполненное водой. Подача промывной воды осуществляется системой труб. На рис. 478 эти трубы проходят под дном фильтра и питают стояки с отверстиями, а в системе по рис. 479 — в самом междудонном пространстве уложена система труб с отверстиями наподобие обычного трубчатого дренажа.

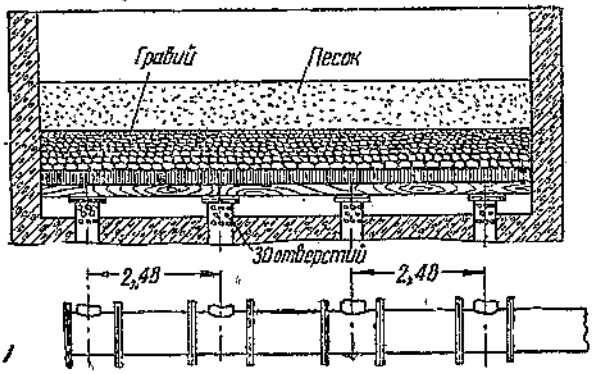


Рис. 478

В такой системе, называемой системой дренажа с горизонтальной компенсацией, имеются как бы две ступени распределения промывной воды: первая — обычный дренаж большого сопротивления (трубчатый или сосунковый); вторая — слой воды в междудонном пространстве, позволяющий уравнять давления под дощатым дренажем путем свободного перемещения токов воды под ним в горизонтальном направлении (горизонтальная компенсация). В обычных дренажах большого сопротивления неравномерная интенсивность истечения из отдельных отверстий отражается непосредственно на неравномерности промывки фильтра. В данной системе эта неравномерность компенсируется возможностью перераспределения токов воды в междудонном пространстве и создания под дощатым дренажем равномерного давления по всей площади фильтра. Самый дощатый дренаж

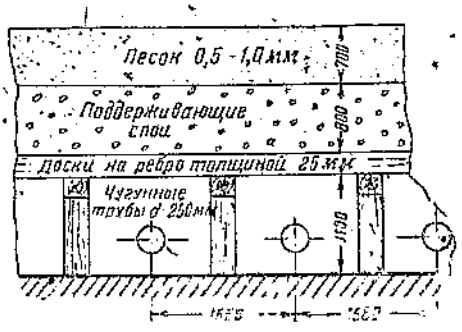


Рис. 479

имеет площадь просветов в 50% от площади фильтра и ничтожное сопротивление. Устройство подобной системы требует значительной высоты поддерживающих слоев загрузки. Ввиду этого, а также ввиду конструктивных особенностей фильтры этой системы имеют высоту, бо́льшую по сравнению с фильтрами, имеющими обычную систему дренажа большого сопротивления. К достоинствам их, кроме указанных, относятся небольшая стоимость и незначительный расход металла.

Идея «горизонтальной компенсации» может быть осуществлена путем различных конструктивных приемов. В США применяется дренаж из систем дырчатых труб с отверстиями, обращенными вертикально вниз с уложенными между трубами специальными бетонными колосниковыми плитками. Вода, выходящая из отверстий в трубах,

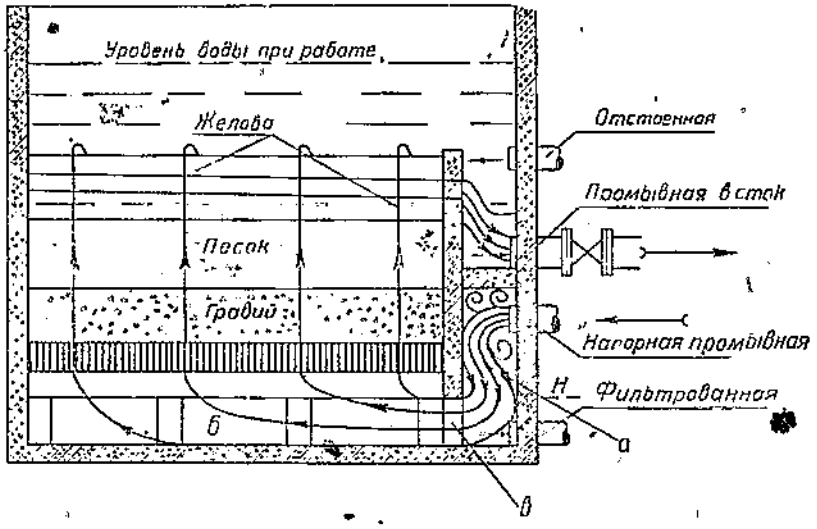


Рис. 480

ударяется в дно и, проходя под колосниками, получает возможность свободно перемещаться под слоями поддерживающего материала, уравнивая давления (дренаж системы Вагнера).

Наконец, в некоторых установках был применен дренаж, состоящий из одних лишь досок, уложенных на ребро, как это имело место в дренаже с горизонтальной компенсацией. Подача воды при таком дренаже осуществляется в междудонное пространство *б* через специально устроенный гаситель скорости — камеру *а*, из которой вода проходит под дренаж через горизонтальную щель *в*, идущую вдоль всего фильтра (рис. 480).

Благодаря весьма малым скоростям движения воды в междудонном пространстве и, следовательно, минимальным потерям в нем напора, достигается малая разность давлений в отдельных точках площади фильтра под дренажем. В силу этого нет необходимости увеличивать искусственно сопротивление дренажа. Подобная система дренажа названа дренажем малого сопротивления.

Система эта незначительно распространена ввиду недостаточной теоретической и экспериментальной изученности методов ее расчета и практического осуществления надежно работающих устройств для гашения скорости и равномерной подачи воды под дренаж.

§ 101. Загрузка фильтров

Как указывалось, для скорых фильтров рекомендуется песок с эффективной крупностью зерен 0,35—0,45 *мм*. Чем мельче песок, тем лучше его фильтрующая способность, но потеря напора в нем больше, и он скорее засоряется; более крупный песок требует большей интенсивности промывки. Толщина слоя песка для мешалочных фильтров принимается 0,7—0,9 *м*. В безмешалочных фильтрах толщина назначается 0,7—0,75 *м*. Минимально допустимой для слоя песка согласно «Правилам проектирования фильтровальных станций» является величина 0,6 *м*.

Размеры отдельных зерен поддерживающих слоев щебня и гравия и их высота зависят от крупности зерен принятого песка, системы дренажа и интенсивности промывки.

Учитывая размер зерен применяющегося для фильтров песка, верхние поддерживающие слои гравия следует принимать с размерами зерен 1—1,5 *мм*. Размеры зерен нижних слоев загрузки в зависимости от типа дренажа могут колебаться в весьма больших пределах (от 8 до 60—80 *мм*).

Высота поддерживающего слоя обычно принимается для сосункового дренажа в 200—300 *мм*; для трубчатого и шарового дренажа в 450 *мм* и для дощатого — в 600—800 *мм*.

§ 102. Промывка фильтров

Опыты американских инженеров Губерта и Геринга и наблюдения над промывкой фильтров позволили установить величину требуемой интенсивности промывки в зависимости от крупности песка и температуры воды.

Опыты показали, что эффективность промывки зависит от степени «расширения песка» при промывке. Восходящими токами промывной воды песок взмучивается и объем, занимаемый им, увеличивается; это явление называют «расширением песка».

Рис. 481

Если поверхность песка до промывки во время фильтрации занимала положение *а — а* (рис. 481), то при промывке песок поднимается и поверхность взмученной массы песка, поддерживаемая восходящими токами воды, займет некоторое положение *б — б*.

Высота подъема песка будет тем больше, чем больше скорость подъема промывной воды. Кроме того, высота подъема песчинок зависит от температуры воды. Чем меньше температура воды (а следовательно, чем меньше ее вязкость), тем выше будут подниматься при той же скорости промывки частицы промываемого песка.

Расширение песка начинается лишь при условии, что интенсивность промывки превышает некоторую критическую для данного случая величину.

Для установления зависимостей между величинами интенсивности промывки, расширения песка, крупности песка и температуры воды упомянутые исследователи предложили следующие эмпирические формулы:

величина интенсивности промывки:

$$q_0 = 0{,}183\, d_{30} + \frac{2{,}5}{1{,}17 d_{10}} - 3{,}13 \ л/сек \text{ на } 1\ м^2$$

и величина расширения песка в процентах:

$$e = \frac{q - q_0}{(0{,}44 + 0{,}00762t)\cdot(d_{30} - 0{,}17)},$$

где t — температура в °С;

d_{30} — 30%-ный калибр песка в *мм*;

q_0 — критическая интенсивность промывки в *л/сек* на 1 $м^2$.

Перевод эффективной (10%-ной) величины песка к 30%-ному калибру можно сделать по формуле:

$$d_{30} = d_{10}\frac{u+1}{2{,}048},$$

где u — коэфициент однородности песка.

По приведенным выше формулам составлена таблица (табл. 35), дающая значения критической интенсивности промывки и интенсивности промывки, требуемой для минимально необходимой величины расширения песка, принимаемой обычно в 45%.

Таблица 35

Показатели	$d_{10}=0{,}85$		$d_{10}=0{,}40$		$d_{10}=0{,}45$	
	$t=4°$	$t=25°$	$t=4°$	$t=25°$	$t=4°$	$t=25°$
Критическая интенсивность промывки, q_e	0,64	2,35	0,99	2,94	1,48	3,68
Необходимая интенсивность промывки для 45% расширения песка, q	6,46	10,15	8,16	12,57	10,03	15,08

Величина расширения песка на фильтре определяет и высоту расположения желобов для отвода промывной воды с безмешалочных фильтров (рис. 481), и высоту борта концентрического желоба на мешалочных фильтрах.

Кромка желоба должна быть расположена на такой высоте над «статическим» уровнем песка $a-a$, чтобы вертикальные токи промывной воды могли выносить в желоб лишь частицы мути, осевшей на фильтрате, но не увлекать с собой частицы взмученного и поднятого песка. Следовательно, кромка желоба должна быть расположена выше «динамического» уровня песка при промывке. Высота подъема песка зависит от толщины слоя песка и процента его расширения и может быть определена, когда процент расширения установлен. Обычно принимают высоту расположения кромки желоба с запасом в 33% против расчетной.

Таким образом если мы имеем слой песка на фильтре h *см* и процент расширения e%, то высота расположения кромки желоба над «статическим» уровнем песка будет:

$$h_ж = 1{,}33\frac{eh}{100}\ см.$$

Для определения напора, под которым должна подаваться промывная вода, надо знать потери напора в дренаже, поддерживающем слое и песке. Потери напора в поддерживающих слоях и в песке определялись опытным путем; потеря напора в слое гравия высотой от 0,35 до 0,45 *м* при интенсивности промывки в 10 *л/сек* составляет от 8,5 до 10 *см;* потеря напора в слое песка высотой 0,76 *м* при той же интенсивности промывки составляет 70 *см.*

Промывка фильтров производится водой, уже прошедшей фильтры, подача производится промывочными насосами, забирающими воду из резервуаров чистой воды, или напорными баками, расположенными над фильтровальной станцией или вблизи нее.

Полный напор *H,* который должны создавать насосы промывной воды, слагается из: 1) геометрической высоты подачи H_0 (рис. 482),

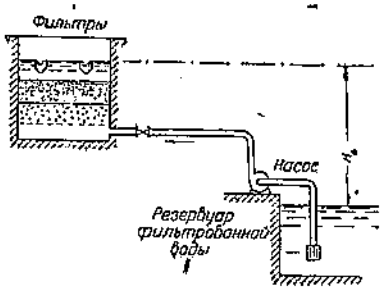


Рис. 482

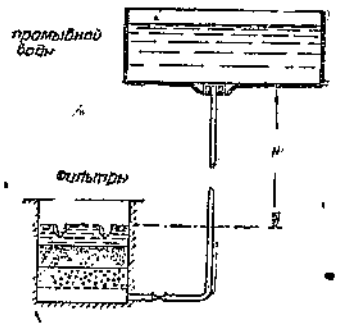


Рис. 483

равной разности отметок уровня кромки желобов, отводящих с фильтра промывную воду, и минимального уровня в резервуаре чистой воды, откуда насос забирает воду; 2) величины потерь напора в трубах от резервуаров до фильтров, 3) величины потерь в фасонных частях и арматуре, 4) величины потерь напора в дренаже и 5) величины потерь напора в песке и гравии.

При подаче промывной воды от напорного бака дно бака должно быть расположено над уровнем кромок желобов фильтра на высоте *H,* равной сумме величин всех перечисленных выше потерь (рис. 483).

Емкость напорного бака промывной воды принимается из расчета промывки двух фильтров при максимальной ее интенсивности.

Бак разделяется вертикальной стенкой на два равных отделения. Приемный конец трубы, подающей воду на фильтры, расположен в углублении дна бака для предотвращения засасывания воздуха на фильтр при низком уровне воды в баке.

Диаметр трубы, подводящей промывную воду к фильтрам, должен обеспечить пропускную способность трубы с запасом в 1,5—2,0 раза против расчетной интенсивности подачи промывной воды. Наполнение баков производится путем постепенной подачи воды от водоводов чистой воды или при помощи специального небольшого насоса. Производительность насоса зависит от числа фильтров, установленных на станции, и определяется из расчета наполнения бака в течение не более 2,5—3 час. при четырех фильтрах и в течение не более 1,5 часа — при восьми фильтрах и т. д.

При промывке фильтров при помощи промывных насосов производительность последних определяется по максимальной интенсивности промывки. Промывной насос обычно устанавливается один, а запасный к нему агрегат хранится на складе станции. В виде резервного мероприятия при установке промывных насосов должен быть устроен

подвод воды к промывной линии от напорных труб чистой воды (от насосов II подъема).

Недостатком промывки фильтров от напорного бака является необходимость соблюдения промежутков между промывками отдельных фильтров, обусловливаемых емкостью бака и временем его наполнения, а также значительная стоимость устройства бака. Достоинство этого метода в том, что при нем не требуется промывной насос большой производительности, создающей благодаря периодическому пуску неравномерную нагрузку на электросеть, питающую насосы.

Достоинством устройства промывки от насоса является небольшая стоимость установки и возможность промывки фильтров в любом порядке и с любой продолжительностью, так как промывные насосы берут воду из резервуара чистой воды, емкость которого значительна.

Опыт проектирования фильтровальных станций показывает, что с учетом изложенных соображений для станций большой производительности экономически целесообразно устройство промывных баков, а для станций малой производительности — промывных насосов. В отдельных случаях встречаются отклонения от этого правила.

Промывной насос устанавливается в здании фильтровальной станции, а иногда на насосной станции II подъема в зависимости от компоновки узла очистных и насосных станций и резервуара чистой воды, а также от условий размещения этих сооружений и расстояний между ними.

Вода забирается промывным насосом из резервуара чистой воды при помощи отдельного самостоятельно всасывающего трубопровода.

Для обеспечения равномерного удаления промывной воды с фильтра и выноса частиц грязи необходимо сократить длину горизонтального пути при изливе в желоба. По данным американской практики длина этого пути не должна превышать 1,10 *м* и колеблется в пределах 0,7 — 1,10 *м*. В соответствии с этим принимают расстояние между бортами соседних желобов около 1,8 — 2,5 *м*.

Поперечное сечение желоба определяется по формуле:

$$\omega_{ж} = \frac{q\Omega}{1\,000nv},$$

где Ω — площадь фильтра в $м^2$;
q — интенсивность промывки в $л/сек$ на 1 $м^2$;
n — число желобов;
v — средняя скорость движения воды в конечном сечении желоба.

Величина v принимается в 0,6 $м/сек$. Форма поперечного сечения желоба (деревянного) показана на рис. 484. Полученная по формуле площадь поперечного сечения желоба относится к его конечной части и является максимальной. По мере удаления от конца желоба площадь поперечного сечения его может уменьшаться за счет уменьшения глубины (при сохранении горизонтального положения переливных кромок). Обычно принимают глубину желоба в начале желоба равной половине полученной по расчету конечной глубины. Сечение желоба допускается не более 0,2—0,25 $м^2$, длина желоба — не более 5—6 *м* и площадь, обслуживаемая одним желобом, около 10 $м^2$.

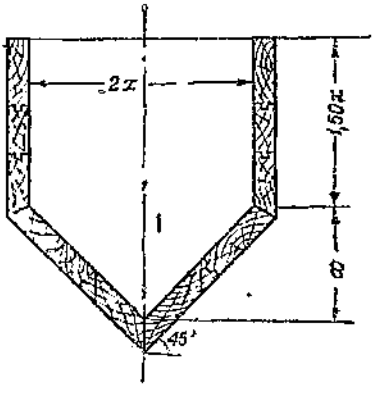


Рис. 484

§ 103. Скорость фильтрации. Производительность станций и площадь фильтров

Фильтровальная станция должна быть рассчитана на пропуск количества воды, подаваемого потребителям, плюс расход на собственные нужды (промывка, сброс первого фильтрата и др.).

Если обозначить максимальный расчетный расход воды, подаваемой в сутки потребителям, через S_{max}, то полезная часовая производительность фильтровальной установки будет $Q_n = \frac{S_{max}}{n}$, где n — число часов работы станции. При обычной круглосуточной работе станции

$$Q_n = \frac{S_{max}}{24}.$$

Полное количество воды, которое должны пропускать в час фильтры с учетом количеств воды, расходуемых на нужды самой станции, и с учетом перерывов в работе фильтра, связанных с процессом их очистки, будет $Q = \alpha Q_n$.

Коэфициент $\alpha > 1$ и зависит от системы фильтров и применяемой интенсивности промывки. Суммарная площадь фильтров Ω определяется по полной расчетной производительности станции Q *м*³/*час* и принятой расчетной скорости фильтрации v *м/час*:

$$\Omega = \frac{Q}{v} = \frac{\alpha Q_n}{v} = \frac{\alpha S_{max}}{24v}.$$

Для нахождения суммарной площади фильтров надо найти величины v и α.

Расчетная скорость фильтрации v не может быть признана величиной постоянной и приниматься одинаковой для различных очистных станций. Величина эта зависит прежде всего от качества фильтруемой воды. Чем больше взвеси содержит фильтруемая вода, тем меньшей должна быть принята величина v. Обычно для скорых фильтров эта величина принималась $v = 5$ *м/час*.

В отдельных случаях с увеличением скорости фильтрации может ухудшиться качество фильтрата. Опыты показывают, что это ухудшение (увеличение мутности) относительно невелико. Большое значение может иметь вызываемое увеличением скорости фильтрации сокращение периода полезной работы фильтра и необходимость частой промывки фильтров, требующей большого расхода промывной воды. Однако в отдельных случаях расход промывной воды в процентах от количества профильтрованной воды может быть даже уменьшен. Для воды, содержащей малое количество взвеси в естественном состоянии, или после тщательной обработки коагулированием и отстаиванием, могут быть приняты повышенные величины скорости фильтрации — более 5 *м/час*, но не более 7—7,5 *м/час*.

Для новой фильтровальной станции Мосводопровода принято $v = 6$ *м/час*.

При назначении величины расчетной скорости фильтрации для определения площади фильтров следует принимать во внимание число фильтров.

Считая, что из n установленных фильтров один может быть в ремонте и скорость фильтрации (аварийная v_a) не должна при этом быть выше 7,5 *м/час*, получим величину нормальной скорости фильтрации

$$v_p = \frac{n-1}{n} v_a,$$

что при $v_a = 7{,}5$ даст:

при	$n=2$	v_p	не более	3,75	*м/час*
»	$n=3$	v_p	»	5,00	»
»	$n=4$	v_p	»	5,63	»
»	$n=5$	v_p	»	6,00	»
»	$n=6$	v_p	»	6,25	»

Таким образом только при двух фильтрах приходится понижать расчетную скорость фильтрации по отношению к принимавшейся ранее величине 5,0 *м/час*.

Величина коэфициента α может быть определена, исходя из следующих соображений. Количество воды, прошедшей фильтровальную установку за один цикл работы фильтра, т. е. период между двумя промывками, будет:

$$\Omega v\,(T-t) = Q\,(T-t),$$

где Ω — площадь фильтров в $м^2$;
v — скорость фильтрации в *м/час*;
T — длительность цикла в часах;
t — длительность операций, связанных с промывкой, в часах;
$Q = \Omega v$ — полная часовая производительность фильтров в $м^3/час$.

Из этого количества воды на подачу потребителю пошло: $Q_n T$ и $\frac{3600\,q\Omega t_0}{1\,000} = 3{,}6q\Omega t_0$ израсходовано на промывку фильтра, где q — интенсивность промывки в *л/сек* на 1 $м^2$; t — время промывки; Q_n — полезная часовая производительность фильтра.

Очевидно:

$$Q\,(T-t) = Q_n T + 3{,}6q\Omega t_0;$$

или, заменяя Ω через $\frac{Q}{v}$, имеем:

$$Q\,(T-t) = Q_n T + 3{,}6qt_0\frac{Q}{v},$$

откуда

$$\alpha = \frac{Q}{Q_n} = \frac{T}{(T-t) - 3{,}6\frac{qt_0}{v}}.$$

Для безмешалочных фильтров при длительности одного цикла 12 час. (две промывки в сутки), длительности операций, связанных с промывкой, 0,33 часа, длительности самого процесса промывки 0,067 часа (4 мин.) и интенсивности промывки 12,5 *л/сек* на 1 $м^2$ получим $\alpha = 1{,}085$.

Такое же значение α может быть принято и для мешалочных фильтров.

В некоторых установках производится сброс первых порций воды («первого фильтрата») после промывки фильтра в течение до 10 мин., так как качество этого фильтрата ниже нормального. На некоторых установках «первый фильтрат» не сбрасывают, но начинают фильтрование при скорости несколько ниже нормальной, постепенно увеличивая ее и доводя до нормы. Этим достигается возможность избежать ухудшения качества первых доз воды после промывки и необходимости ее сброса.

Потеря напора на фильтре и регулирование скорости фильтрации. Для обеспечения намеченной скорости фильтрации необходимо подобрать величины напора, под которыми вода проходит через фильтр, и суммарную величину гидравлических сопротивлений всех элементов фильтровальной установки.

Располагаемый напор H для преодоления всех сопротивлений элементов фильтров определяется разностью отметок уровня воды над фильтром и отметкой излива воды в отводящей трубе или уровня воды в сборном резервуаре чистой воды при погруженном положении

конца отводящей трубы (рис. 485). В обычных (самотечных) фильтрах H — величина постоянная. Количество воды, которое при таком располагаемом напоре может быть проведено через фильтр, а следовательно, и скорость фильтрации зависят от величины гидравлических сопротивлений в элементах фильтра (фильтрующего и поддерживающих слоев, дренажа, отводящих труб и арматуры). Начальная величина сопротивления в чистом фильтре будет по мере его загрязнения все возрастать. Таким образом, скорость фильтрации будет меняться от некоторой максимальной величины при чистом фильтре до минимальной величины при его загрязнении перед промывкой.

Для нормальной работы фильтра важно обеспечить постоянную скорость фильтрации во все время работы фильтра. Для этого после фильтра вводят регулирующее приспособление, которое обладает переменным сопротивлением — максимальным в начале рабочего периода работы фильтра и минимальным в конце. Этим достигается постоянная величина потерь напора на фильтре во все время его работы.

Если величину потери напора в чистом фильтре обозначить через h_1, приращение потери в зависимости от загрязнения через h_2

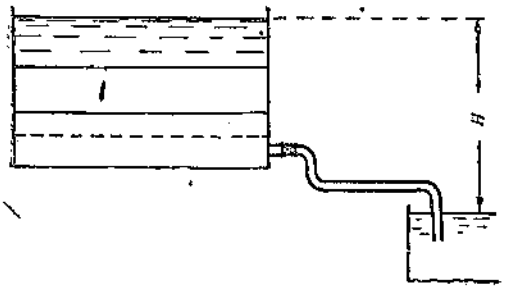


Рис. 485

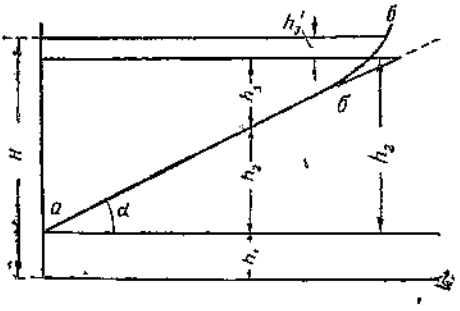


Рис. 486

и величину потери в регулирующем приспособлении через h_3, то получим во всякий момент работы фильтра $h_1 + h_2 + h_3 = H$; при этом h_1 — постоянно; h_2 — возрастает и h_3 уменьшается в течение расчетного периода работы фильтра (рис. 486).

Поддержание постоянной величины скорости фильтрации можно осуществлять как вручную, так и автоматически — путем постепенного уменьшения величины сопротивления в регулирующем приборе (уменьшения величины h_3). Когда величина h_3 достигает своего минимального значения h'_3, определяемого конструктивными особенностями прибора, возможность дальнейшего поддержания постоянной скорости фильтрации исчерпана, так как при дальнейшем возрастании h_2 его нечем будет компенсировать, и скорость фильтрации начнет уменьшаться. Этот момент определяет наступление срока промывки фильтра.

При нормальной работе фильтра нарастание потерь напора в нем вследствие загрязнении идет почти точно по прямой ($а — б$, рис. 486). Интенсивность нарастания может быть выражена тангенсом угла наклона этой прямой к оси абсцисс:

$$c = \operatorname{tg}\alpha = \frac{H - h_2 - h'_3}{T - t} = \frac{h'_2}{T - t},$$

где $T - t$ — время работы фильтра между двумя промывками.

Наблюдая интенсивность нарастания потерь c, можно установить длительность периода между промывками

$$T - t = \frac{h'_2}{c}.$$

Величины полного напора, необходимого для фильтровальных установок, влияют на стоимость строительства фильтров и связанных с ними сооружений (отстойников и резервуаров чистой воды) и на стоимость их эксплоатации, т. е. на длительность рабочих периодов и связанных с этим расходов по содержанию станции.

На основании опытных данных величина H принимается в пределах от 2,5 до 3,5 *м* и в среднем 3,0 *м*. Учитывая величину высоты слоя фильтрующих и поддерживающих слоев и размеры дренажных устройств, необходимо для обеспечения надлежащей величины H иметь над фильтром слой воды в 1 — 1,5 *м*.

Преимущество большой высоты слоя воды заключается в предохранении фильтра от образования вакуума, что может произойти при значительном возрастании потерь напора в верхнем слое фильтрующего материала. При образовании вакуума в толще фильтрующего материала интенсивно выделяются пузырьки воздуха, закупоривающие поры между песчинками и вызывающие резкое увеличение потери напора на фильтре. На рис. 486 кривая *б — б* дает представление о пе-

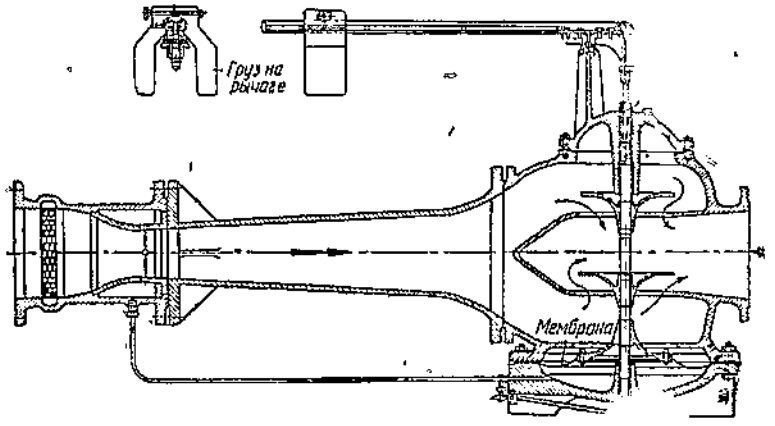


Рис. 487

реломе кривой нарастания потерь вследствие указанного явления. Это влечет сокращение рабочего периода и вызывает необходимость в более частых промывках фильтра.

Регулирование скорости фильтрации вручную производится при помощи задвижки, установленной на отводящей трубе, и является весьма несовершенным. По мере загрязнения фильтра начинается уменьшение скорости фильтрации и, следовательно, расхода воды, отмечаемое водомером. Увеличивая открытие задвижки, достигают снова заданной величины расхода. Так как следить непрерывно за показаниями водомера невозможно, ручная регулировка не обеспечивает постоянства скорости фильтрации, а лишь сокращает диапазоны ее колебания; в периоды между двумя изменениями степени открытия задвижки скорость фильтрации фактически меняется, что неизбежно отражается и на качестве фильтрата.

В современных очистных установках устраивается автоматическая система регулирования скорости фильтрации. Почти все регулирующие приспособления основаны на принципе сохранения постоянства расхода, т. е. обеспечивают пропуск постоянного количества воды.

На рис. 487 показано устройство автоматического регулятора, состоящего из трубы Вентури, присоединенной непосредственно к регулирующему прибору. Вода, пройдя через трубу Вентури, проходит через двухседельный клапан, сидящий на вертикальном штоке; к верхне-

му концу штока присоединен рычаг с грузом, а нижним он соединен с гибкой мембраной, отделяющей нижнюю часть корпуса клапана, соединенную трубочкой с узким сечением трубы Вентури. В верхней и нижней частях камеры регулятора устанавливается определенная разность давлений, соответствующая величине скорости прохода воды через трубу Вентури.

Благодаря этой разности мембрана испытывает давление сверху вниз, передаваемое ею на ось клапана и уравновешиваемое грузом. При уменьшении скорости фильтрации уменьшается разность давлений в широком и узком месте трубы Вентури, а следовательно, и сила давления сверху вниз на мембрану, груз поднимает клапан, сечение окон клапана увеличивается, сопротивление его уменьшается и расход воды, а следовательно, и скорость фильтрации увеличивается, достигая заданной величины. Установив соответствующим образом груз на рычаге, можно обеспечить заданную величину скорости фильтрации и обеспечить автоматически ее постоянную величину в период работы фильтра между промывками.

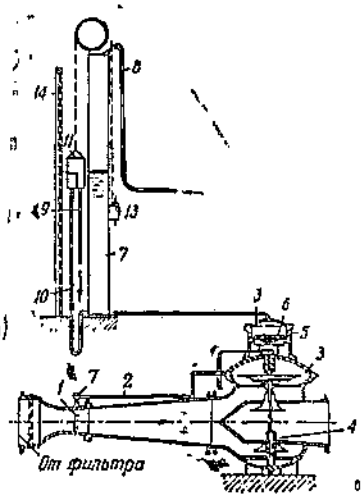


Рис. 488

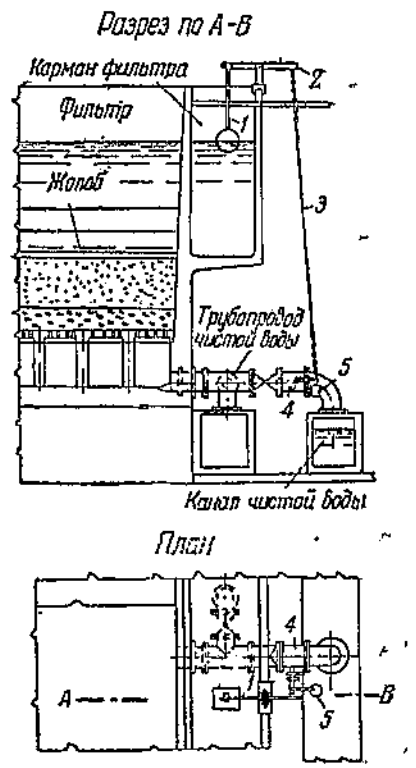


Рис. 489

На рис. 488 дан регулятор, предложенный инж. Лежоевым, основанный на том же принципе, но имеющий иное конструктивное решение. В этом клапане вместо рычага с грузом давление регулируется высотой столба воды в колонке. Устройство регулятора ясно из чертежа, где *1* — труба Вентури (суженная часть); *2* — трубка; *3* — корпус регулятора; *4* — клапан двухседельный; *5* — гидравлическое устройство; *6* — поршень; *7* — гидравлическая колонна; *8—9* — трубки; *10—11* — сосуд; *13* — приспособление для перемещения сосуда; *14* — рейка.

На рис. 489 представлена схема регулирования скорости фильтрации при помощи дроссельного клапана *4*, связанного с поплавком *1*. Когда при увеличении сопротивления фильтра начинается подъем воды на нем, поплавок, перемещенный вверх, увеличивает открытие клапана и восстанавливает нормальную скорость фильтрации.

§ 104. Оборудование фильтра трубами и арматурой

В соответствии с изложенными принципами работы фильтра каждое отделение фильтра должно быть оборудовано перечисленными ниже трубопроводами (рис. 490).

1) Труба (или канал), подводящая воду на фильтр от центрального канала, идущего от отстойников. На крупных очистных станциях весьма часто подвод воды к фильтрам от отстойников устраивается при помощи самотечного железобетонного канала прямоугольной формы. Ответвление от центрального канала к каждому отделению фильтров прикрывается шибером и подводится к сборному карману *а* или центральному желобу, Если ответвления от центрального желоба осуществляются трубой, на последней ставится обычная задвижка *А*.

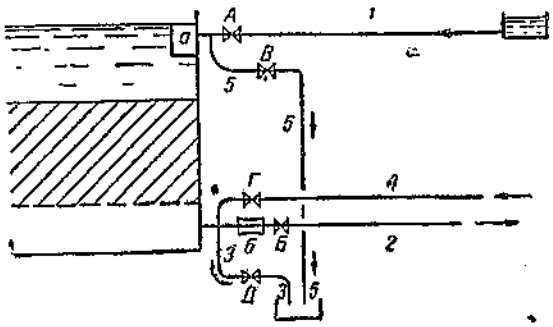


Рис. 490

2) Труба *2* для отвода чистой воды. На ней устанавливается регулятор скорости фильтрации *б* и задвижка *Б*. Трубы от отдельных фильтров присоединяются к центральной трубе или каналу, отводящему воду в сборный резервуар чистой воды.

3) Ответвление *3* от той же трубы *2* для сброса первого фильтрата. Сброс производится в желоб или трубу, отводящую промывную воду.

4) Трубы для подвода промывной воды от напорной магистрали, которые подают воду к каждому отделению фильтров и присоединяются к тем же трубам *2*, отводящим фильтрованную воду. Соответствующая расстановка задвижек позволяет при помощи одного узла осуществлять отвод фильтрата, подачу промывной воды и сброс первого фильтрата.

5) Трубы (или желоба) для отвода с фильтров промывной воды. Из желобов над фильтром вода собирается в сборный боковой карман или центральный желоб и по вертикальной трубе поступает в центральный сборный канал, отводящий использованную промывную воду в водосток.

6) Труба для полного опорожнения фильтра (не показана).

Диаметры труб и сечения каналов, подающих воду на фильтр от отстойников, определяются по скорости не более 0,6 *м/сек*.

Работа фильтра происходит при открытых задвижках *А* и *Б* (рис. 490) и закрытых задвижках *В*, *Г* и *Д*. Вода поступает под уровень воды на фильтре и подается на фильтр по тем же желобам, по которым отводится промывная вода; эти желоба обеспечивают равномерную подачу воды на фильтр, предохраняя поверхность песка от взмучивания.

Для промывки фильтра его выключают из работы, т. е. закрывают задвижки *А* и *Б* и спускают воду с фильтра до уровня желобов через ту же систему труб и каналов, по которой удаляется промывная вода. После этого пускают промывную воду, закрывая задвижку *Д* и открывая задвижки *В* и *Г*. По окончании промывки закрываются задвижки *В* и *Г*, открывается задвижка *А* и напускается вода на фильтр, после чего открывается задвижка *В* и начинается нормальная работа фильтра или же предварительно в течение некоторого времени производится сброс первого фильтрата по трубе *3*.

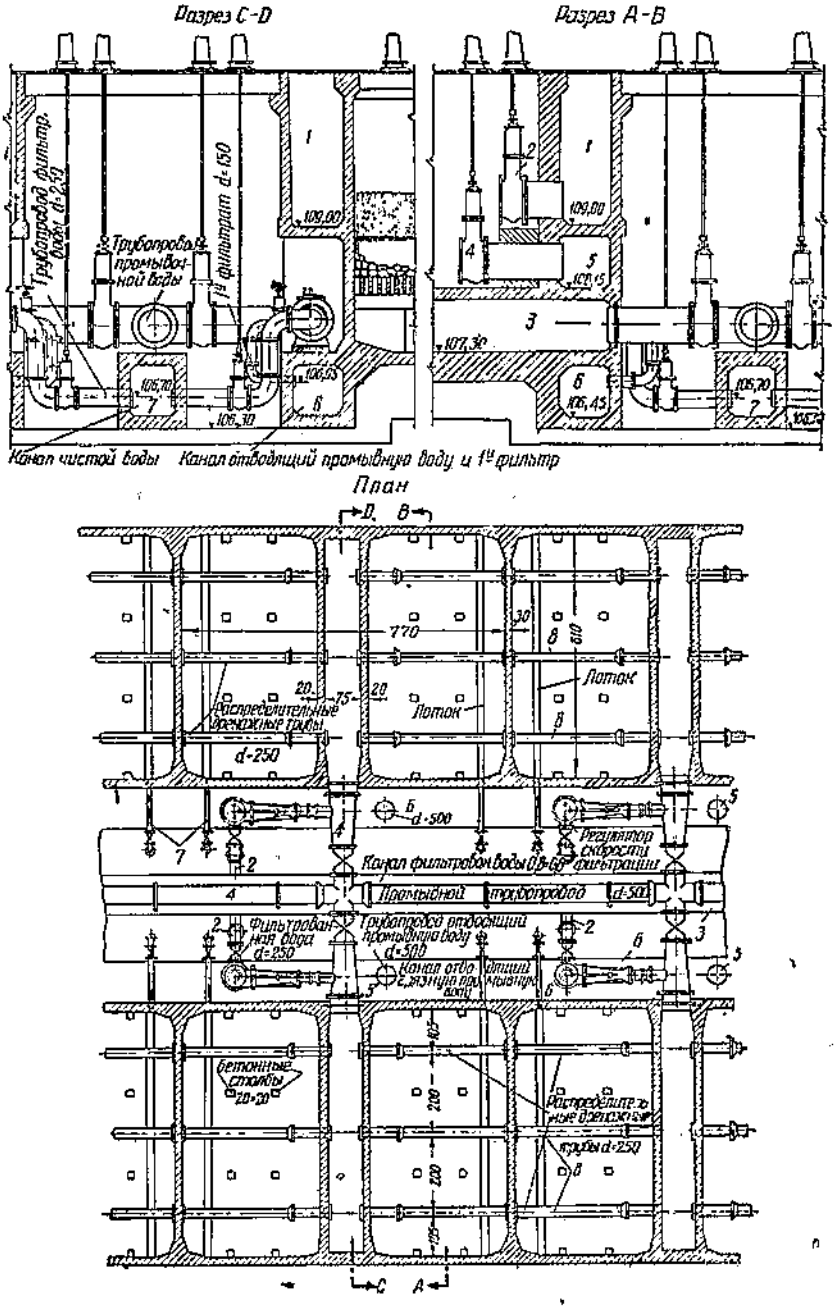

Разрез С-D
Разрез А-В
Трубопровод промывной воды
1й фильтрат d=150
109,00
106,70
106,30
106,05
107,30
106,45
Канал чистой воды
Канал отводящий промывную воду и 1й фильтр
План
770
30
610
Лоток
Распределительные дренажные трубы
d=250
d=500
Регулятор скорости фильтрации
Канал фильтрованной воды Ø1-69
Промывной трубопровод d=500
Фильтрованная вода d=250
Трубопровод отводящий промывную воду d=500
Канал отводящий грязную промывную воду
Лоток
Бетонные стойки
20×20
200
Распределительные дренажные трубы d=250
C
A

Рис. 491

Схема трубопроводов при расположении фильтров в два ряда дана на рис. 491.

На рис. 492 представлена система железобетонных каналов для обслуживания фильтров, примененная на станции весьма большой производительности.

В современных станциях применяются в той или иной степени механизация и автоматизация управления фильтрами. Наблюдение за работой фильтров и управление задвижками — централизованы. Все операции по открытию и закрытию задвижек, пуск насосов и т. п. мо-

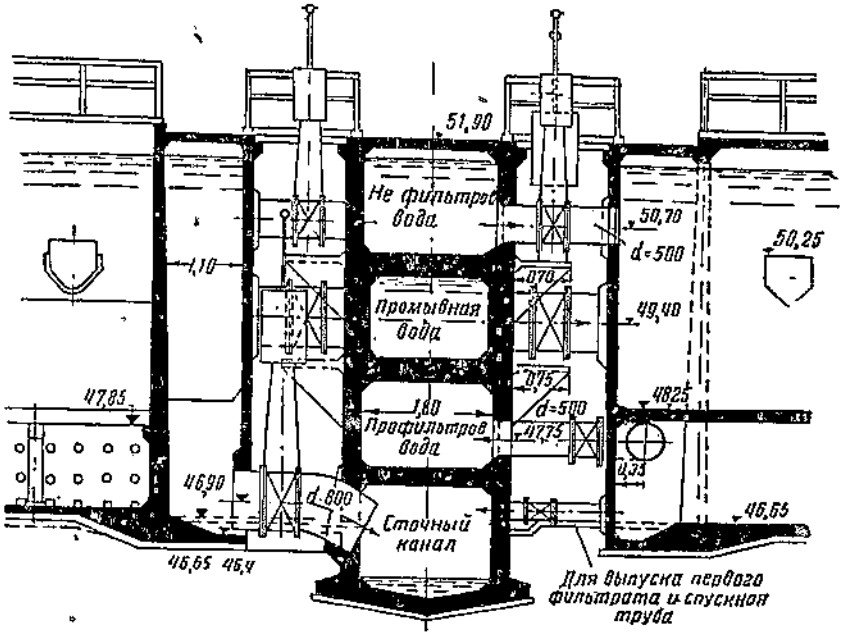


Рис. 492

тут производиться со столов (или пультов) управления. Эти столы обычно установлены на служебном мостике или в верхнем этаже фильтровальной станции и один стол обслуживает два фильтра.

Управление задвижками происходит при помощи гидравлической или электрической системы передачи энергии. На столе расположены кнопки или рукоятки для управления отдельными задвижками для включения или выключения промывных насосов и, кроме того, приборы, показывающие величину скорости фильтрации, величину потери напора на фильтре и др. Иногда приборы снабжены самопишущими аппаратами. Регулирование скорости фильтрации также может производиться со столов управления. На рис. 493 показан пульт управления системы Центроспецстройпроекта, работающей на гидравлической системе задвижек.

Кроме того, при помощи вакуум-аппаратов или специальных небольших насосов на стол управления может непрерывно подаваться фильтрат, проходящий через стеклянную трубочку и освещаемый, что дает возможность непосредственного и непрерывного контроля за качеством (прозрачностью) прошедшей фильтр воды. В последнее время разрабатываются методы полной автоматизации работы станций или отдельных ее процессов (в частности, процесса промывки), позволяющие при критической величине потери напора на фильтре автоматически выключать его из работы и подвергать промывке. При окончании промывки так же автоматически фильтр переходит на нормальную работу.

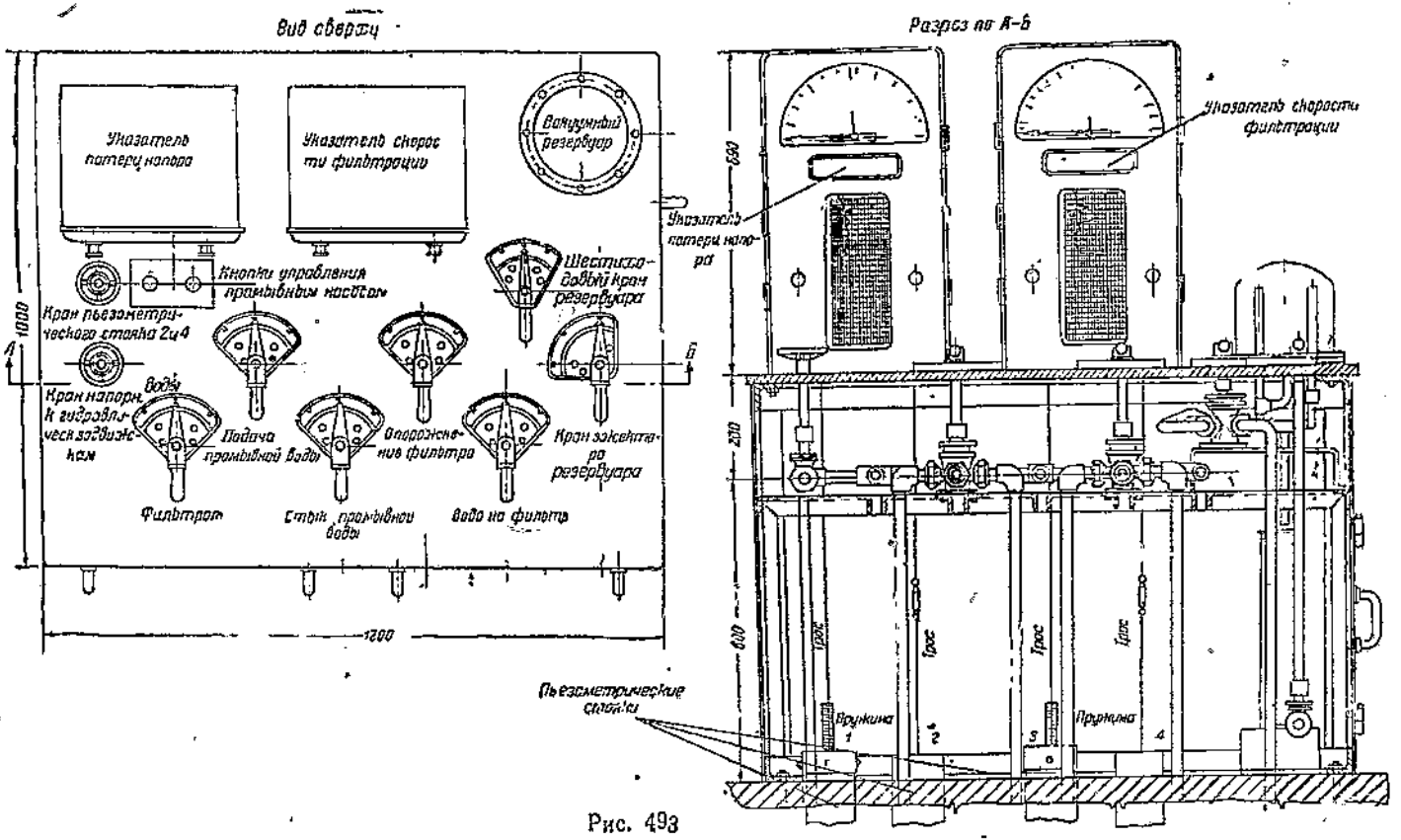

Вид сверху
Разрез по А-Б
Указатель потерь напора
Указатель скорости фильтрации
Воздушный резервуар
Кнопки управления промывными насосами
Шестиходовой кран резервуара
Кран пьезометрического стояка 2и4
Кран напорной воды к гидравлически задвижкам
Подача промывной воды
Опорожнение фильтра
Кран эжектора резервуара
Фильтрат
Стык промывной воды
Вода на фильтр
Пьезометрические стояки
Пружина
Трос
1200
1000
600
200
1

Рис. 493

§ 105. Напорные и вакуумные фильтры

Рассмотренные выше фильтры принадлежали к типу самотечных открытых фильтров, в которых располагаемый напор создавался разностью уровней воды на фильтре и в сборном резервуаре чистой воды. Этот тип фильтров имеет в настоящее время наибольшее распространение.

Недостатком этих фильтров является необходимость двойной перекачки воды, напор, создаваемый насосами не передается за фильтр, и для подачи воды потребителям необходим вторичный подъем воды насосами (II подъема), хотя следует отметить, что в большинстве установок двойная перекачка воды вызывается наличием не только фильтров, но и отстойников, а также необходимостью иметь резервуары чистой воды. Существуют и другие системы фильтров: напорные и вакуумные.

Напорные фильтры допускают проведение через них фильтруемой воды под определенным напором, причем после прохождения фильтров остается еще достаточный напор для подачи воды в напорный бак или непосредственно в сеть, снабжающую потребителей. Для этого

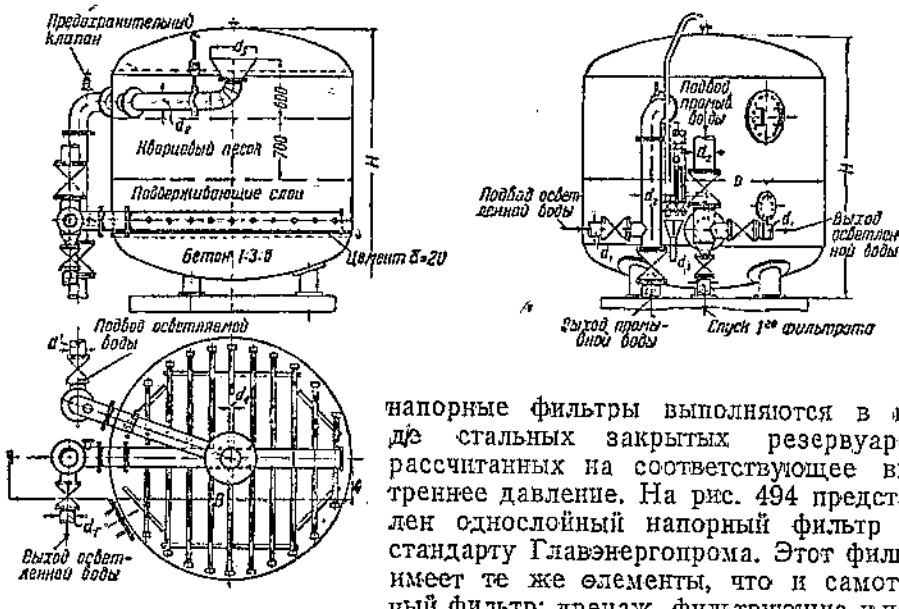


Рис. 494

напорные фильтры выполняются в виде стальных закрытых резервуаров, рассчитанных на соответствующее внутреннее давление. На рис. 494 представлен однослойный напорный фильтр по стандарту Главэнергопрома. Этот фильтр имеет те же элементы, что и самотечный фильтр: дренаж, фильтрующие и поддерживающие слои и трубы для подачи и отвода фильтруемой и промывной воды.

Напорные фильтры могут применяться в промышленных водоснабжениях и для комбинированного обслуживания как производственной, так и питьевой водой, в тех случаях, когда качество сырой воды позволяет отказаться от устройства отстойников.

Проект стандарта предусматривает максимальный диаметр фильтра 3,0 *м* и высоту 6,15 *м*, что соответствует фильтрующей площади всего 7 *м*². Таким образом для станций значительной производительности требуется большое число отдельных фильтров, что удорожает оборудование станции.

На рис. 495 представлен «двухслойный» напорный фильтр, предназначенный для фильтрования предварительно коагулированной воды. Ввиду отсутствия отстойников коагулянт подается непосредственно на фильтры, и образование хлопьев идет как в водном пространстве фильтра, так и в толще песка верхнего фильтра.

Нижний фильтр служит для окончательного осветления воды. Поддерживающие слои верхнего фильтра покоятся на дренажном днище, снабженном сосунками типа «гаек Говатсона».

Устраиваются также горизонтальные напорные фильтры, позволяющие делать их несколько больших размеров, чем вертикальные фильтры.

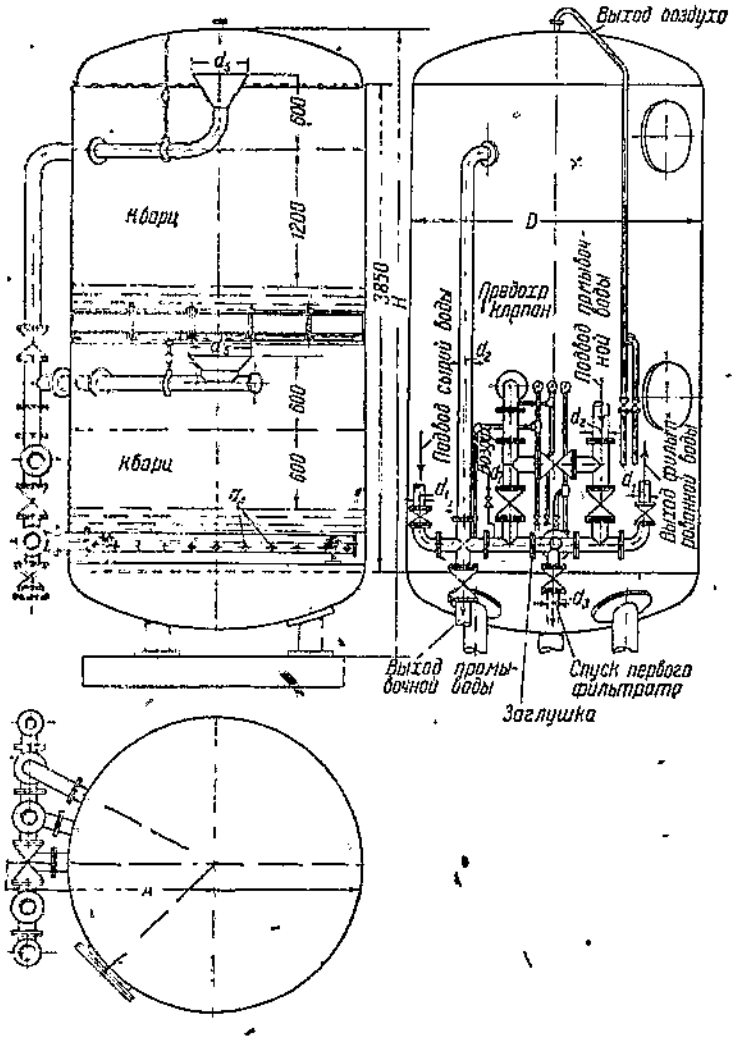


Рис. 495

Вакуумные фильтры являются по конструкции открытыми песчаными фильтрами с той разницей, что вода из-под фильтра отводится не самотеком, а отсасывается насосом. Создание разрежения под фильтром позволяет уменьшить высоту расположения фильтра, которая часто определяется необходимостью дать надлежащую величину напора на фильтре.

Применением вакуумных фильтров можно уменьшить строительную стоимость очистной станции в целом, так как снижение высоты фильтров уменьшает высоту связанных с ними по отметкам отстойников. Недостаток вакуумных фильтров заключается в необходимости введения в схему дополнительных насосов.

§ 106. Пример расчета безмешалочных фильтров

Суммарная полная производительность станции: 33 200 *м*³/*сутки*, или 1 383 *м*³/*час*. Задаваясь расчетной скоростью фильтрации 5 *м*/*час*, получаем суммарную площадь фильтров:

$$\Omega_{ф} = \frac{1\,383}{5} \approx 276\ м^2.$$

Принимая число фильтров $n = 12$ (по 2 на каждый отстойник), получаем площадь одного фильтра:

$$\omega_{ф} = \frac{\Omega}{12} = \frac{276}{12} \approx 23\ м^2;$$

принимаем фильтр размером в плане 4,8×4,8 *м*.

При интенсивности промывки $q = 12{,}5$ *л*/*сек* на 1 *м*² количество промывной воды на один фильтр составит:

$$Q = q\omega_{ф} = 12{,}5 \cdot 23 = 289\ л/сек.$$

Диаметр магистрали, подающей промывную воду (располагаемой по середине дна фильтра), принимаем по скорости, близкой к 1,5 *м*/*сек*; получаем $D = 500$ *мм*; при этом скорость в начальной точке магистрали $v_1 = 1{,}48$ *м*/*сек*.

При шаге ответвления 0,3 *м* площадь дна фильтра, приходящаяся на одно ответвление, будет: $\frac{4{,}8}{2} \cdot 0{,}3 = 0{,}72\ м^2$ и расход промывной воды: $12{,}5 \cdot 0{,}72 = 9$ *л*/*сек*.

Соответствующий диаметр ответвления будет $d = 68$ *мм* при скорости $v_2 = 2{,}56$ *м*/*сек*.

Допуская степень неравномерности промывки 5%, получим величину напора в начальной точке магистрали (максимальную величину напора, под которым будет происходить истечение), равной:

$$h = 9\frac{v_1^2 + v_2^2}{2g} = 9\,\frac{1{,}48^2 + 2{,}56^2}{19{,}62} \approx 4{,}05\ м.$$

Площадь отверстий должна составлять 0,2 — 0,3% от площади фильтра; так как величина требуемого напора при истечении нами получена ($h = 4{,}05$ *м*), определяем соответствующее значение k (отношение площади отверстий к площади фильтров) из уравнения:

$$h = \frac{q^2}{100\mu^2 k^2 2g},$$

откуда:

$$k = \frac{q}{10\mu\sqrt{2gh}} = \frac{12{,}5}{10 \cdot 0{,}62 \cdot \sqrt{19{,}62 \cdot 4{,}05}} \approx 0{,}22\%.$$

Суммарная площадь отверстий на один фильтр: $\omega_0 = 0{,}01 \cdot 0{,}22 \cdot 23 = 0{,}0505\ м^2 = 50\,500\ мм^2$.

Принимая диаметр одного отверстия $d_0 = 12$ *мм*, получим его площадь равной 113 *мм*²; отсюда число отверстий на один фильтр: $\frac{50\,500}{113} \approx 450$; при шаге ответвлений 0,3 число ответвлений будет $\frac{4{,}8 \cdot 2}{0{,}3} = 32$, и, следовательно, на одно ответвление приходится $\frac{450}{32} \approx 14$ отверстий.

Длина одного ответвления $\frac{4{,}8 - 0{,}5}{2} = 2{,}15$ *м*, и, следовательно, шаг отверстий $\frac{215}{14} \approx 15{,}5$ *см*.

Определим размеры и высоту расположения желобов, отводящих воду.

Принимая скорость движения воды в конечном сечении желоба $v_{ж} = 0{,}6$ *м сек* (стр. 387), получим суммарную площадь желобов:

$$\omega_{ж} = \frac{q}{v_{ж}} = \frac{0{,}289}{0{,}6} \approx 0{,}482\ м^2.$$

Берем три желоба с площадью поперечного сечения $\frac{0{,}482}{3} \approx 0{,}16\ м^2$; один желоб обслуживает площадь фильтра в $\frac{23}{3} = 7{,}7\ м^2$.

Полученные результаты соответствуют указаниям стр. 387.

Высота расположения кромки желоба над „статическим уровнем" песка $h_{ж} = 1{,}33\frac{lh}{100}$ *см*.

Толщину слоя песка примем $h = 0{,}7$ *м*, эффективный размер зерен $d_{10} = 0{,}4$ *мм* и коэфициент неоднородности $u = 1{,}6$; тогда по формуле для d_{30} находим $d_{30} = d_{10}\frac{u+1}{2{,}048} = 0{,}4\frac{1{,}6+1}{2{,}048} \approx 0{,}51$.

Принятая интенсивность промывки $q = 12{,}5$ *л/сек*; критическая интенсивность при $t = 4°$ $q_0 = 0{,}99$ (по табл. 35); тогда:

$$e = \frac{q - q_0}{(0{,}44 + 0{,}00762\ t)\cdot(d_{30} - 0{,}17)} = \frac{12{,}5 - 0{,}99}{(0{,}44 + 0{,}00762\cdot 4)\cdot(0{,}51 - 0{,}17)} \approx 72{,}6\%$$

и

$$h_{ж} = 1{,}33\ \frac{72{,}6\cdot 0{,}7}{100} \approx 0{,}67\ м.$$

Глава XIII

ДЕЗИНФЕКЦИЯ (ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЕ) ВОДЫ

§ 107. Основные понятия

Вода, подаваемая для хозяйственно-питьевых нужд населения, должна быть безвредной для здоровья людей, т. е. не содержать болезнетворных бактерий.

Отстаивание и фильтрация хотя и значительно уменьшают количество содержащихся в воде микроорганизмов, но не дают все же полной гарантии окончательного их удаления. В хорошо эксплоатируемых очистных сооружениях через фильтры проходит 2—3% бактерий, содержащихся в воде источника. Для окончательного удаления микроорганизмов применяют дезинфекцию (обеззараживание воды). В современных очистных сооружениях дезинфекция воды производится во всех случаях, когда источник водоснабжения не является надежным с санитарной точки зрения.

Дезинфекции подвергается вода, уже прошедшая остальные стадии очистки — коагулирование, отстаивание, фильтрование.

В осветленной воде отсутствуют частицы мути, в которых могут скрываться бактерии, оставаясь, таким образом, защищенными от действия дезинфицирующих средств.

В некоторых случаях дезинфекция воды применяется как единственная самостоятельная мера ее очистки, например, во временных водопроводах.

Дезинфекция сырой, неосветленной воды, не давая гарантии ее полного оздоровления, все же в значительной степени повышает ее санитарные качества.

Дезинфекция воды осуществляется при помощи различных мероприятий: вода может быть подвергнута действию хлора (хлорирование), действию озона (озонирование); действию ультрафиолетовых лучей, действию солей тяжелых металлов (серебра, меди) и др.

В практике водоочистки повсеместное распространение получила дезинфекция воды путем хлорирования.

§ 108. Хлорирование как метод дезинфекции

Хлор при нормальном атмосферном давлении и температурах выше —34° представляет собой газ желто-зеленого цвета в 2,5 раза тяжелее воздуха. При температуре —34° хлор переходит в жидкое состояние. Сжижение хлора может быть достигнуто и при обычных температурах путем сжатия его до 6—8 *ат*.

Для дезинфекции воды применяется или чистый газообразный хлор (Cl), или хлорная (белильная) известь ($CaOCl_2$).

При введении в воду хлор действует как окислитель на органические вещества, находящиеся в ней и, в частности, на ткань бактерий, убивая их. Соединяясь с водой, хлор образует хлорноватистую кислоту и соляную кислоту

$$Cl_2 + H_2O = HOCl + HCl.$$

Хлорноватистая кислота (HOCl) — соединение нестойкое и распадается далее на соляную кислоту и кислород:

$$HOCl = HCl + O.$$

Свободный кислород в момент образования действует, так же как сильный окислитель, на органические вещества и бактерии, находящиеся в воде. Количество кислорода, а следовательно, и хлора, необходимого для обеззараживания воды, должно определяться не по количеству болезнетворных бактерий, а по всему количеству органических веществ и микроорганизмов, которые могут находиться в хлорируемой воде.

Необходимо иметь уверенность, что все болезнетворные бактерии уничтожены введенным в воду хлором. Лучшим показателем этого является наличие в воде некоторой дозы «остаточного» хлора, показывающего, что в воде не осталось органических веществ, могущих быть окисленными. Поэтому хлорирование всегда производится избыточными дозами хлора, с тем, чтобы количество остаточного хлора в воде, подаваемой в городскую сеть, было 0,1—0,2 *мг/л* после 30-минутного контакта хлора с водой (см. «Временный стандарт качества водопроводной воды»).

Доза хлора зависит не только от содержания в воде органических веществ, но и от наличия в ней железа, сероводорода и др.

Доза хлора должна быть установлена индивидуально для каждого данного случая в зависимости от свойств хлорируемой воды.

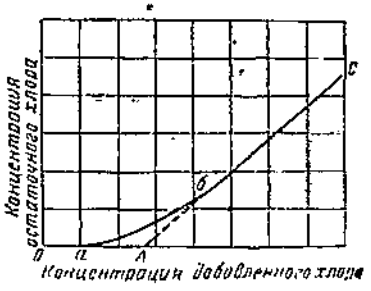


Рис. 496

На рис. 496 представлена кривая зависимости между дозой вводимого в воду хлора и количеством остаточного хлора. При известных дозах хлора он весь поглощается, вступая в реакцию с содержащимися в воде веществами, и величина остаточного хлора равна нулю (участок *О—а*). При увеличении дозы вводимого хлора часть его идет на реакцию, часть остается в виде «остаточного» хлора (участок кривой *а—б*); наконец, после достижения известной дозы хлора все имевшиеся в воде вещества уже реагировали с хлором, и дальнейшие дозы его идут исключительно на повышение количества остаточного хлора (прямой участок *б—с* и далее). Отрезок *О—А* характеризует полную «хлороемкость» данной воды, т. е. количество хлора, которое может быть ею поглощено на реакцию с содержащимися в ней веществами.

Практика хлорирования дает средние дозы хлора для дезинфекции фильтрованной воды — 0,5—1,0 *мг/л*, для нефильтрованной воды поверхностных источников — около 2 *мг/л*. При наличии в воде гуминовых веществ или железа доза эта может повыситься до 3—4 *мг/л*.

Значительные количества остаточного хлора (более 0,4 *мг/л*) ухудшают вкусовые качества воды и придают ей неприятный запах. Количество остаточного хлора может быть определено при помощи ортотолидина — реактива, дающего желтоватую окраску, если к его раствору

прибавить воду, содержащую хлор. Количество хлора определяется путем сравнения интенсивности окраски исследуемой воды с заготовленным стандартом.

В ряде случаев для большей гарантии обеззараживания воды применяют хлорирование значительными дозами хлора с тем, чтобы количество остаточного хлора было порядка 1 *мг/л*. Такой процесс носит название «перехлорирования». Так как указанное количество остаточного хлора не может быть допущено в воде, подаваемой потребителю, производится последующее удаление из воды избытков хлора или так называемое дехлорирование.

При хлорировании фильтрованной воды хлор вводится в воду или перед поступлением ее в резервуар чистой воды, или в водовод, подающий воду в городскую сеть. При этом необходимо обеспечить контакт хлора с водой в течение около 1 часа, но не менее 30 мин.

§ 109. Хлорирование газообразным хлором

При хлорировании газообразным хлором он поступает на станцию в металлических баллонах в сжиженном состоянии под давлением 6—8 *ат*.

Стандартный баллон (Б-25) диаметром 216 *мм* и полной высотой 1,0 *м* содержит жидкого хлора 25 *кг*. Вес баллона с хлором — около 55—60 *кг*. Внутри баллон имеет вертикальную трубку, присоединенную к его головке. В заграничной практике встречаются баллоны значительно большей емкости (до 1 *т*).

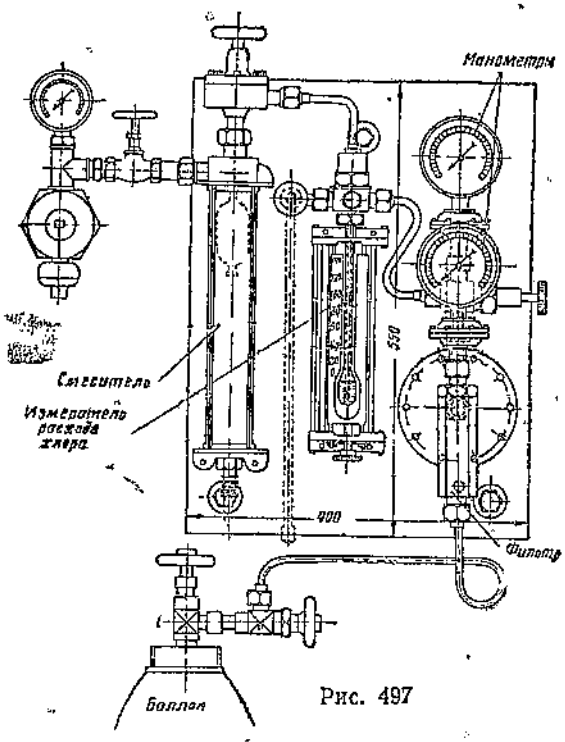


Рис. 497

Процесс хлорирования воды газообразным хлором заключается в превращении жидкого хлора в газообразный, дозировании хлора, введении его в дезинфицируемую воду и обеспечении надлежащего времени контакта хлора с водой.

Все процессы по дозированию хлора осуществляются при помощи специальных приборов — хлораторов (газодозаторов).

Существуют различные системы хлораторов: одни из них рассчитаны на непрерывную подачу определенных количеств газа в единицу времени (хлораторы непрерывного действия), другие — для отмеривания определенных порций газа (порционные).

Кроме того, различают хлораторы напорные и вакуумные. На рис. 497 представлен распространенный в СССР хлоратор системы инж. Б. М. Ремесницкого, состоящий из ряда приборов, смонтированных на общем щите.

На рис. 498 дана схема последовательного прохождения газа через все элементы хлоратора. Обычно хлор подается к хлоратору не непосредственно из баллона *1*, в котором он хранится, а пропускается через промежуточный баллон *2*. Это имеет целью предотвратить попа-

дание в хлоратор жидкого хлора, а также влаги и грязи. Проходя через вентиль *3*, хлор переходит из сжиженного состояния в газообразное. Промежуточный баллон обеспечивает окончание этого процесса

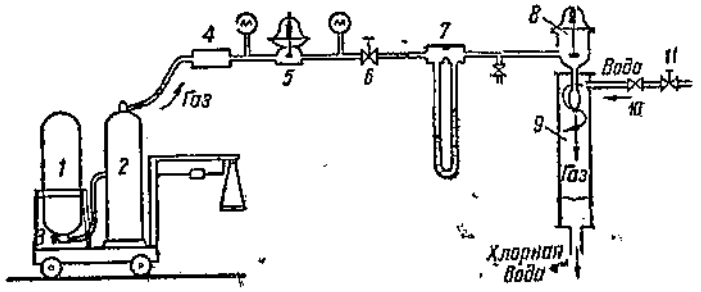


Рис. 498

еще до поступления хлора в хлоратор. Баллон с жидким хлором устанавливается вентилем вниз и помещается на весах для контроля за расходом хлора.

Из промежуточного баллона газообразный хлор поступает на фильтр *4*, заполненный стеклянной ватой, смоченной в соляной кислоте, и далее, в окончательно очищенном виде, проходит через редукционный клапан *5*, понижающий давление газа с 5—6 до 1—1,5 *ат*. До и после редукционного клапана установлены манометры *М*. За редукционным клапаном расположен вентиль *6*, при помощи которого осуществляется регулирование расхода хлора. Далее газ проходит измерительный прибор *7*, основанный на перепаде давления в диафрагме, отражающейся на разности уровней измерительной жидкости в U-образной трубке прибора. Расход хлора читается по шкале, установленной за U-образной трубкой. Из измерительного прибора газ поступает через обратный клапан *8* в смеситель *9*. Сюда же подводится вода от водопровода через редукционный клапан *10* и регулирующий вентиль *11*.

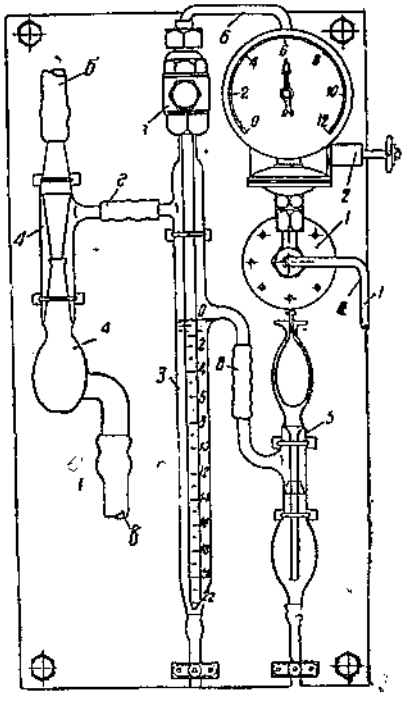


Рис. 499

В смесителе образуется раствор хлора в воде (хлорная вода). Из смесителя хлорная вода поступает по резиновому шлангу непосредственно в дезинфицируемую воду.

Хлораторы этой системы изготовляются производительностью от 25 до 2 500 *г* хлора в час.

Контролировать расход хлора за отдельные промежутки времени можно на основании убыли веса баллона, расположенного на весах. Недостатком всех напорных хлораторов является возможность утечки хлора при любой неплотности в какой-либо части прибора.

Так как хлор является ядовитым газом, утечка его представляет опасность для обслуживающего персонала. Эта опасность устранена в системах вакуумных хлораторов.

В вакуумном хлораторе газ находится под давлением ниже атмосферного, что исключает возможность его утечки в помещение. На рис. 499 представлена схема вакуумного хлоратора системы Ремесницкого. Газ подается от баллона по трубке *а* и через редукционный клапан *1* и регулирующий вентиль *2* поступает в измеритель расхода *3*.

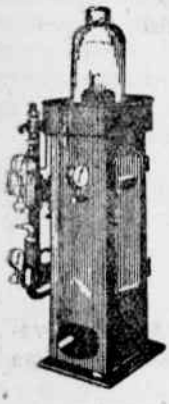


Рис. 500

Вода от водопровода поступает по трубе *б* в эжектор *4*, создающий разрежение в приборе и засасывающий газ. В эжекторе происходит смешение воды с хлором. Хлорная вода уходит по трубке *в*. Прибор снабжен обратным клапаном, препятствующим обратному поступлению воды из эжектора в случае прекращения отвода воды по трубе *в*, а также предохранительным приспособлением *5*, препятствующим выходу хлора в помещение в случае внезапной остановки эжектора.

Вакуумные хлораторы пользуются исключительным распространением в практике водоочистки США. На рис. 500 дан внешний вид установки с вакуумными хлораторами фирмы «Уоллес и Тирнен». Для контроля за расходом газа в хлораторе в США применяются автоматические весы, вычерчивающие диаграмму изменения веса баллона за сутки. На рис. 501 показан баллон большой емкости — весом в 1 *т*, помещенный на автоматических весах. Преимущества вакуумных хлораторов дают основания для широкого их использования.

Хлорирование воды газообразным хлором началось в США с 1912 г. и применяется теперь повсеместно на большинстве очистных станций, являясь более современным по сравнению с методом хлориро-

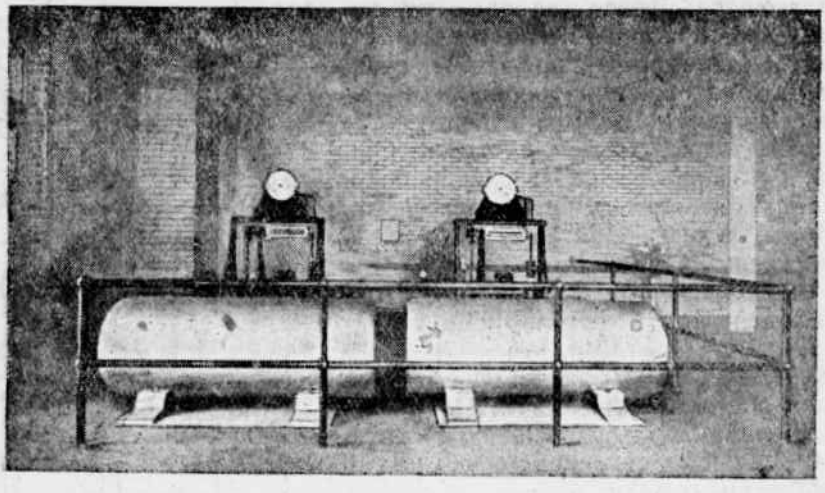


Рис. 501

вания хлорной известью. Хлорирование газообразным хлором дает возможность точного дозирования и позволяет избежать отрицательных сторон работы по растворению хлорной извести.

§ 110. Хлорирование хлорной известью

Хлорная (белильная) известь ($CaOCl_2$) изготовляется на заводах путем соединения газообразного хлора с гашеной известью. Техническая известь содержит 25—30% активного хлора, таким образом приходится завозить на станцию и хранить до 75% бесполезного груза.

При введении в воду хлорная известь распадается на гипохлорит кальция [$Ca(OCl)_2$] и хлористый кальций ($CaCl_2$):

$$2CaOCl = Ca(OCl)_2 + CaCl_2;$$

далее, гипохлорит кальция вступает в реакцию с находящейся в воде углекислотой:

$$Ca(OCl)_2 + CO_2 + H_2O = CaCO_3 + 2HOCl$$

или с бикарбонатами кальция (солями жесткости):

$$Ca(OCl)_2 + Ca(HCO_3)_2 = 2CaCO_3 + 2HOCl;$$

и в том и в другом случае в результате получается хлорноватистая кислота (HOCl), распадающаяся по формуле:

$$2HOCl = HCl + O_2$$

с выделением свободного кислорода подобно тому, как это имело место при хлорировании газообразным хлором.

Для приготовления раствора хлора из хлорной извести применяется установка, наподобие той, в которой производится приготовление раствора коагулянта. В состав ее входят затворные баки, куда засыпается хлорная известь и прибавляется вода. При помощи мешалок в затворных баках известь перемешивается с водой и известковое молоко поступает в растворные баки, где крепость раствора доводится до 1—2% (по хлорной извести).

В растворных баках производится осаждение извести, после чего хлорная вода, через дозировочный бак вводится в дезинфицируемую воду. Число рабочих баков принимается не менее двух, емкость каждого:

$$W = \frac{24 \cdot 100 \cdot 100aQ}{1\,000 \cdot 1\,000nbc},$$

где a — максимальная доза хлора, применяемая при хлорировании воды в *мг/л*;

Q — полное количество дезинфицируемой воды в $м^3$;

n — число растворений в сутки;

b — крепость раствора в % (по хлорной извести);

c — процентное содержание активного хлора в технической хлорной извести.

Величину b принимают обычно в 2%, величину c — с запасом в 20—25% и число заготовок n — не боле трех, т. е. емкость бака должна обеспечить непрерывную подачу раствора на 8—12 час.

Пример установки для хлорирования воды хлорной известью дан на рис. 502, где A — рабочие баки и $Б$ — затворные баки.

Для приготовления хлорной воды баки делаются железобетонными или деревянными, покрытыми изнутри цементным раствором. Вся арматура и трубы, проводящие хлорную воду, выполняются из антикоррозийных материалов (резина, эбонит, свинец).

Все баки плотно закрываются крышками для предотвращения попадания хлора в помещение.

Дезинфекция хлорной известью начала применяться с 1900 г. и получила большое распространение.

Применение этого метода сопровождается большими неудобствами, особенно для крупных установок ввиду их громоздкости, необходимости удаления значительных количеств осадка, малого процента использования хлора, содержащегося в хлорной извести, и, наконец, благодаря значительной вредности обращения с хлорной известью для обслуживающего персонала. Вследствие этих недостатков установки для де-

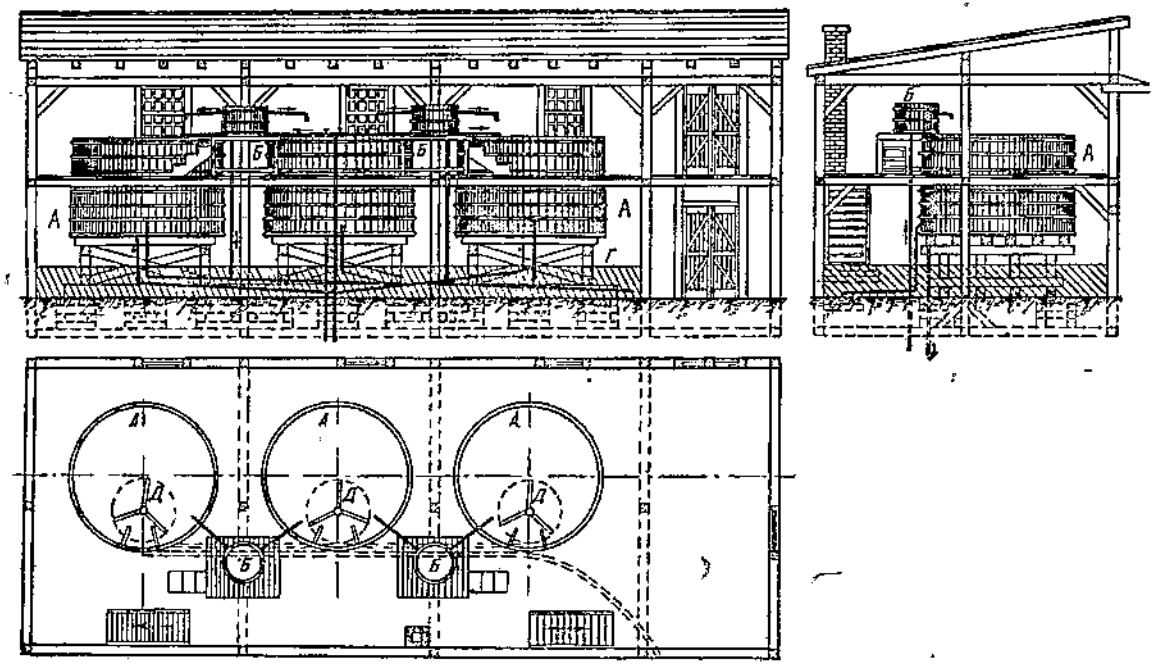


Рис. 562

зинфекции воды хлорной известью все больше заменяются установками, работающими на жидком хлоре.

В настоящее время установки, работающие на хлорной извести, устраиваются на станциях малой производительности или станциях, для которых по местным условиям не обеспечена регулярная доставка баллонов с жидким хлором. Согласно инструкции государственной санитарной инспекции установки для дезинфекции воды производительностью менее 25 000 *м³/сутки*, работающие на жидком хлоре, должны иметь резервное оборудование для использования хлорной извести.

§ 111. Помещение хлораторной

При проектировании и эксплоатации хлораторных установок надо учитывать требования, гарантирующие от вредного действия хлора обслуживающий персонал очистной станции.

Помещение хлораторной должно быть расположено в первом этаже с примыканием к зданию фильтровальной или насосной станции или же устроено в виде отдельно стоящего здания (на весьма больших установках). Согласно «Временным правилам технической эксплоатации водопроводов и канализаций» в помещении хлораторной, примыкающей к фильтровальной станции, должны быть две двери: одна выходящая в помещение станции, другая наружу — через тамбур или коридор. Двери должны герметически закрываться.

В помещении хлораторной устраивается не менее чем одно окно и электрическое освещение. Необходимо предусмотреть систему искусственной вытяжной вентиляции, рассчитанную на удаление не менее 5 объемов воздуха в час. Вытяжные окна располагаются возле пола, так как хлор тяжелее воздуха.

В помещении хлораторной надо поддерживать температуру 15—20°, не допуская ее падения ниже 10°. При хлорировании жидким хлором площадь помещения хлораторной определяется из расчета 1 *м²* на каждый хлоратор и 4 *м²* на весы. Так как в хлораторной устанавливается не менее двух хлораторов (один — действующий и один — запасный), минимальная площадь помещения определяется в 6 *м²*.

Выключатели для пуска вентилятора и от электрического освещения размещаются у входной двери снаружи.

При хлораторной устраивается дежурный склад баллонов с хлором, рассчитанный на двухсуточный запас для небольших установок, и односуточный — для крупных установок.

При пользовании хлорной известью площадь помещения хлораторной определяется в зависимости от числа и размеров баков для приготовления раствора хлорной извести.

В установках для хлорирования воды в количестве более 10 000 *м³/сутки* помещение для заготовки хлорной извести и приготовления раствора должно быть изолировано от помещения, в котором установлены дозирующие устройства и иметь отдельный выход.

§ 112. Эксплоатация хлораторных установок

Основной задачей персонала, обслуживающего хлораторную установку, является обеспечение подачи установленной дозы хлора. Доза хлора устанавливается и меняется начальником цеха очистки на основании анализов лаборатории.

Персонал хлораторной состоит из хлораторщика и установщиков баллонов. К выполнению этих обязанностей могут быть допущены лица, прошедшие соответствующую техническую подготовку, ознакомленные с правилами техники безопасности при работе с хлором и сдавшие гостехэкзамен.

Контроль дозы хлора производится не только по количеству остаточного хлора на основании анализов, но и путем измерения убыли веса баллонов. Для этого последние устанавливаются на весы. Хлораторщик через определенные промежутки времени записывает показания весов и определяет убыль веса баллонов. Зная количество дезинфицируемой воды и установленную дозу хлора, он может легко определить количество хлора, которое должно быть израсходовано за известный период. Сравнивая его с количеством, полученным по показаниям весов, он проверяет, как выдерживается установленная доза.

На очистных установках США применяются весы с самопишущими аппаратами, регистрирующими автоматически убыль веса баллонов (рис. 501).

В обязанности хлораторщика входит также наблюдение за манометрами на хлораторе и подводящей воду трубе. В напорных хлораторах давление на манометре, расположенном перед редуктором, не должно быть ниже 1 *ат*. Падение давления на этом манометре ниже 1 *ат* сигнализирует об израсходовании используемого баллона и о необходимости его замены. Давление на манометре, стоящем за редуктором, не должно быть выше 1,5 *ат*. Давление на манометре, установленном на трубе, подводящей к хлоратору воду, не должно быть более 2,5 *ат*.

На обязанности установщика баллонов лежит своевременная смена баллонов и доставка их из дежурного склада, опорожнение сработанных баллонов, исправление вентилей у баллонов и т. п.

Баллоны должны быть предохранены от нагревания лучами солнца или от отопительных приборов. При переносе баллоны надо оберегать от толчков и ударов.

Вход в хлораторную допускается лишь в противогазах. Перед входом в помещение хлораторной следует предварительно пустить в действие вытяжную вентиляцию. В помещении, через которое осуществляется вход в хлораторную, должны храниться противогазы и защитные средства (раствор гипосульфита и соды). Приготовление раствора из хлорной извести необходимо вести в резиновых перчатках и противогазах. Баки для раствора хлорной извести должны быть плотно закрыты крышками во избежание утечки хлора.

§ 113. Предварительное хлорирование. Двойное хлорирование

Кроме хлорирования воды, прошедшей отстойники и фильтры, в практике водоочистки применяется хлорирование воды до поступления ее на отстойники — перед смесителем — иногда вместе с коагулянтом (а иногда перед поступлением на фильтр). Такой метод носит название предварительного хлорирования.

Предварительное хлорирование улучшает работу очистных сооружений, так как способствует коагуляции благодаря окислению органических веществ, препятствующих процессу, и следовательно, позволяет уменьшить дозу коагулянта. Кроме того, наличие хлора в воде, проходящей фильтры, препятствует развитию микроорганизмов, способствующих засорению фильтрующего материала.

Предварительное хлорирование требует повышения доз хлора, так как значительная часть его идет на окисление органических веществ, не содержащихся в уже осветленной воде.

Применяя введение хлора как до, так и после очистных сооружений, можно снизить общий расход хлора, сохранив преимущества от его предварительного введения. Такой метод носит название двойного хлорирования. При этом доза хлора может быть назначена для введения перед отстойником 1—1,5 *мг/л* и после фильтров 0,3—0,5 *мг/л*.

§ 114. Перехлорирование. Дехлорирование

В практике водоочистки применяется иногда хлорирование воды дозами хлора, значительно превышающими обычно требующиеся для ее дезинфекции, т. е. так называемое перехлорирование. Доза хлора принимается в 5—10 *мг/л* и больше. Перехлорирование применяется в зависимости от специфических свойств воды источника и в ряде случаев дает надлежащий эффект.

Если качество воды источника подвержено резким и быстрым колебаниям, хлорирование воды обычным методом не обеспечивает ее надежной дезинфекции. Периодические ухудшения качества воды могут оказаться неучтенными лабораторией, доза хлора останется прежней и, следовательно, качество подаваемой в сеть воды понизится. В этих случаях употребление избыточных доз хлора дает гарантию надежности обеззараживания воды. Кроме того, употребление больших доз хлора позволяет уменьшить время контакта хлора с водой. Перехлорирование употребляется также как мера борьбы с цветностью воды. Однако введение значительных доз хлора в воду обусловливает и величину остаточного хлора, превышающую допустимую норму. Поэтому перехлорирование требует последующего удаления из воды избыточных количеств хлора.

Последний процесс носит название дехлорирования и осуществляется введением в хлорированную воду веществ, способных нейтрализовать избыточный хлор, или путем фильтрации хлорированной воды через слой материала, способного реагировать с находящимся в воде хлором.

В качестве веществ, способных нейтрализовать находящийся в воде избыточный хлор, применяют: гипосульфит (серноватистокислый натрий — $Na_2S_2O_3$), сернистый газ (SO_2), сульфит (сернистокислый натрий — Na_2SO_3) железный купорос ($FeSO_4$), аммиак.

Процессы дехлорирования при использовании перечисленных реагентов могут быть выражены следующими уравнениями:

а) при использовании гипосульфита:

$$Na_2S_2O_3 + 4Cl_2 + 5H_2O = Na_2SO_4 + H_2SO_4 + 8HCl;$$

на 1 *мг* нейтрализуемого хлора требуется 0,89 *мг* чистого гипосульфита;

б) при использовании сульфита:

$$Na_2SO_3 + Cl_2 + H_2O = Na_2SO_4 + 2HCl;$$

на 1 *мг* хлора требуется теоретически 3,6 *мг* сернокислого натрия;

в) при использовании сернистого газа:

$$SO_2 + Cl_2 + 2H_2O = H_2SO_4 + 2HCl;$$

на 1 *мг* хлора расходуется 0,92 *мг* сернистого газа;

г) при использовании железного купороса:

$$6FeSO_4 + 3Cl_2 = 2Fe_2(SO_4)_3 + 2FeCl_3;$$

на 1 *мг* хлора расходуется 8 *мг* железного купороса.

При употреблении гипосульфита и сернистокислого натрия они вводятся в воду в виде 1% раствора, приготовляемого в баках наподобие употребляемых при коагулировании.

Сернистый газ содержится в баллонах обычного типа и дозируется при условии подогрева баллонов при помощи несколько видоизмененных хлораторов.

Гипосульфит как средство для дехлорирования имеет тот недостаток, что может быть бактериально загрязнен, и, следовательно, при его использовании не исключена возможность повторного загрязнения воды микроорганизмами.

Для дехлорирования применяется также фильтрация на угольных фильтрах, загруженных слоем активированного угля.

Фильтры эти обычно устраиваются напорными. Высота слоя угля зависит от начальной и конечной концентрации растворенного в воде хлора и от скорости фильтрации. Практически высота слоя угля принимается до 2,5 *м*. Скорость фильтрации принимается в пределах от 20 до 60 *м/час*. Крупность зерен угля от 1,5 до 2,5 *мм*.

Благодаря тому, что на угольном фильтре имеют место процессы адсорбции, после известного времени работы, поверхность зерен угля покрывается слоем сорбированных веществ, препятствующих реакции угля с хлором, и требуется регенерация фильтра.

Для регенерации применяется промывка фильтра горячим раствором соды (80°), гипохлорита, щелока, и др. примерно 1 раз в месяц. Интенсивность промывки около 18 *л/м*^{2}, продолжительность — 30—60 мин. Периодически (1—2 раза в год) требуется прокаливание угля в специальных печах.

Перехлорирование, в частности, находит применение в промышленном водоснабжении как мера борьбы с зарастанием аппаратуры, охлаждающих устройств, труб и т. п. микроорганизмами.

§ 115. Аммонизация

Наличие в воде хлора вызывает появление привкусов и запахов. Привкус хлора различается при наличии его в воде в количестве более 0,4 *мг/л*.

В ряде случаев неприятный запах и привкусы вызываются наличием незначительных доз хлора вследствие взаимодействия хлора с различными веществами, находящимися в воде.

Так, если в воде находятся фенолы, креозолы и их производные, то при соединении их с хлором они придают воде даже при самых малых дозах сильные и неприятные запахи.

Для борьбы с запахами и привкусами, даваемыми избыточными количествами остаточного хлора, а также хлорфенольными запахами применяется предварительная аммонизация воды. Она заключается в прибавлении к очищаемой воде перед ее хлорированием аммиака (NH_3) или его солей [например, сернокислого аммония — $(NH_4)_2SO_4$].

Аммонизация вносит видоизменение в самый процесс хлорирования. При взаимодействии аммиака (его водного раствора NH_4OH) и хлорноватистой кислоты (HOCl), образующихся при хлорировании, получаются хлорамины (вещества, представляющие собой аммиак, в котором один или несколько атомов водорода заменены хлором, например: NH_2Cl, $NHCl_2$ и др.).

Хлорамины производят обеззараживающее действие на обрабатываемую воду, более сильное, чем хлор, но реакция окисления идет медленнее, чем при использовании хлора. При этом устраняется взаимодействие хлора с фенолом, чем предотвращается появление хлорфенольных запахов.

При аммонизации должен быть обеспечен контакт воды с хлором не менее 2 час., т. е. значительно более длительный, чем при использовании хлора.

Для введения и дозирования аммиака применяются дозаторы (аммонизаторы), аналогичные хлораторам, но выполненные из материалов, устойчивых по отношению к аммиаку и имеющие некоторые конструктивные особенности.

Глава XIV

УМЯГЧЕНИЕ ВОДЫ

§ 116. Основные методы умягчения воды

Во многих случаях, при использовании воды для промышленных целей, содержание в ней солей жесткости не может быть допущено или допускается в небольшом количестве. Для отдельных видов промышленных потребителей нормами устанавливается, как было указано,

предельно допустимая величина жесткости. При использовании для таких потребителей жесткой воды природных источников ее приходится умягчать, т. е. снижать содержание солей жесткости. Имеются экономические обоснования для умягчения воды и в коммунальных водопроводах.

В современной практике применяются три основных способа умягчения жестких вод:

1) Реагентный способ, при котором в воду вводятся известь или известь и сода, переводящие соли жесткости в нерастворимую форму и заставляющие их выпадать в виде осадков.

2) Способ обменной фильтрации, при котором умягчаемая вода проводится через слой материала нерастворимого в воде, но способного замещать ионы кальция и магния на ионы других веществ, входящих в его состав.

3) Термический метод, при котором выпадение солей жесткости достигается благодаря нагреванию умягчаемой воды.

§ 117. Известково-содовый способ умягчения воды

Наиболее распространенным из реагентных методов умягчения воды в современной практике является так называемый известково-содовый способ.

Этот способ предусматривает удаление солей временной (карбонатной) жесткости путем введения в воду извести [$Ca(OH)_2$] и для удаления солей постоянной (некарбонатной) жесткости — кальцинированной соды (Na_2CO_3). Ход реакций при этом процессе указан в табл. 36 как для кальциевых, так и для магниевых солей.

Таблица 36

Соединения в умягчаемой воде		Добавление реагента	Выпадает в осадок	Остается в растворе
Временная жесткость	$Ca(HCO_3)_2 +$	$Ca(OH)_2 =$	$2CaCO_3 +$	$2H_2O$
	$Mg(HCO_3)_2 +$	$Ca(OH)_2 =$	$Mg(OH)_2 + 2CaCO_3 +$	$2H_2O$
Постоянная жесткость	$CaSO_4 +$	$Na_2CO_3 =$	$CaCO_3 +$	$2NaSO_4$
	$CaCl_2 +$	$Na_2CO_3 =$	$CaCO_3 +$	$2NaCl$
	$MgSO_4 +$	$Na_2CO_3 =$	$MgCO_3 +$	Na_2SO_4
	$MgCl_2 +$	$Na_2CO_3 =$	$MgCO_3 +$	$2NaCl$

Количество извести x и соды y в *мг/л*, идущих на умягчение, по Пфейферу определяется формулами:

$$x = 10Ж_в + 1{,}4\ MgO + 1{,}27CO_2,$$

где $Ж_в$ — временная жесткость в нем. градусах;

MgO — количество MgO в *мг* в 1 *л* воды;

CO_2 — количество свободной углекислоты, содержащейся в воде, в *мг/л*;

$$y = 18{,}9Ж,$$

где $Ж$ — постоянная (некарбонатная) жесткость в нем. градусах.

Для расчета установки принимаются максимальные количества указанных соединений, содержащихся в сырой воде в отдельные периоды года по данным анализов.

Так как образующиеся в умягчаемой воде углекислый кальций и углекислый магний (особенно последний) до известной степени раство-

римы в воде, свести к нулю жесткость воды указанным методом не удается. Остаточная жесткость получается порядка 4—5°.

Кроме того, выпадение осадка, особенно при содержании в воде органических веществ в коллоидальном состоянии, идет медленно.

Для усиления эффекта умягчения и для ускорения выпадения осадка применяются вспомогательные мероприятия:

а) Подогрев обрабатываемой воды, способствующий быстроте и полноте реакции. При подогреве воды (до 70—80°) остаточная жесткость может быть доведена до 2—3°. Подогрев воды с экономической точки зрения является целесообразным, если умягчаемая вода предназначена для питания котлов.

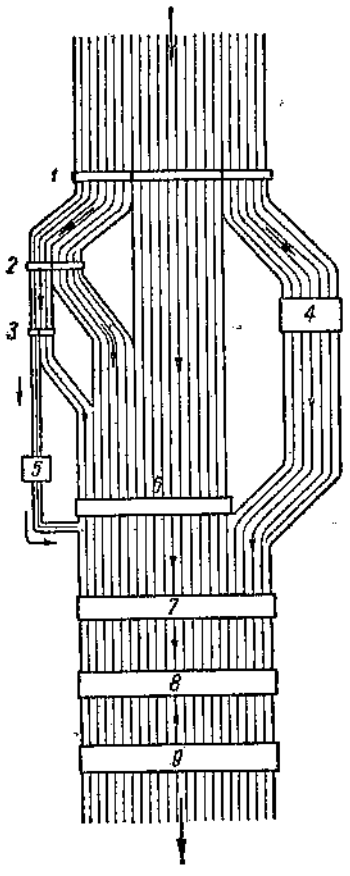


Рис. 503

б) Введение в воду избыточных доз реагента. Практикуется введение избыточной дозы извести в 0,5—1° (против расчетной) и соды — в 2—3°.

Путем комбинирования этих двух методов в некоторых случаях можно получить снижение остаточной жесткости до 1° и ниже.

в) Обработка воды весьма большими избыточными дозами указанных реагентов с последующим удалением этих избытков путем продувки воды углекислотой. Последний процесс носит название рекарбонизации.

Для удаления из умягченной воды образующихся в ней нерастворимых веществ, она подвергается отстаиванию и фильтрованию. Фильтры применяются обычные песчаные, из мраморной крошки, из древесных стружек и т. д.

Для ускорения выпадения осадка иногда применяют коагулирование умягчаемой воды сернокислым алюминием. Доза вводимых реагентов должна быть определена с учетом количеств извести, реагирующей с $Al_2(SO_4)_3$.

Установка для умягчения воды по известково-содовому способу должна иметь следующие основные элементы: 1) устройство для приготовления известкового раствора; 2) устройство для приготовления раствора соды; 3) отстойник; 4) фильтры; 5) распределительные и дозирующие устройства; 6) смесители.

В отдельных случаях к этим основным элементам добавляется устройство для подогрева воды, для коагулирования и т. п.

На рис. 503 дана технологическая схема умягчения воды по системе «Струя». Воды, подлежащая обработке, подается на распределительное устройство, представляющее собой делительный водослив *1*. Прямоугольный водослив имеет две передвижные перегородки, разделяющие поток воды на три отдельных потока. Количество воды в каждом потоке пропорционально ширине соответствующей части водослива. Основная масса воды (рис. 503) направляется в отстойник *8* через подогреватель *6* и смеситель *7*. Правый поток направляется к устройствам для приготовления известкового раствора *4*. Левый поток идет для приготовления раствора соды. Ввиду того что количество воды для приготовления содового раствора составляет весьма незначи-

тельный процент от общего количества, поступающего на главный делительный водослив, применяется последовательное прохождение левого потока через два водослива *2* и *3*.

Отделенное при помощи последнего водослива количество воды направляется на устройство для приготовления содового раствора *5*, а излишние количества воды, прошедшие водосливы *2* и *3*, возвращаются в основной поток. Растворы извести и соды поступают в смеситель. После смешения вода подается на отстойники *8* и фильтры *9*.

Устройства для приготовления раствора извести состоят из баков для заготовки извести и приготовления известкового молока и сатуратора — устройства, в котором приготовляется насыщенный раствор извести.

На рис. 504 представлено схематически устройство сатуратора, основанное на принципе «двойного насыщения».

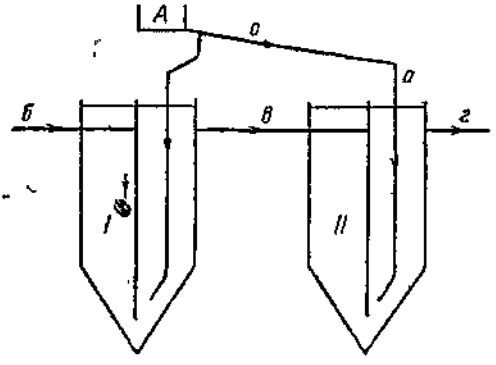


Рис. 504

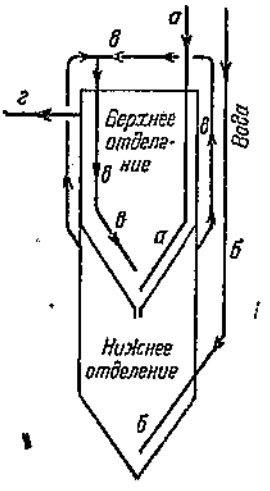


Рис. 505

Сатуратор состоит из двух цилиндрических сосудов с конически сходящейся нижней частью, расположенных рядом (рис. 504) или один над другим (рис. 505). Известковое молоко (рис. 504), заготовляемое в баке *А*, подается периодически по трубам *а* в нижние части обоих отделений сатуратора непосредственно в каждое (при схеме рис. 504) или путем перепуска из верхнего в нижнее (при схеме рис. 505). Вода, подлежащая умягчению, в количестве, установленном на делительном водосливе, поступает по трубе *б* в нижнюю часть первого сатуратора, смешивается с известковым молоком, взмучивает его и с постепенно убывающей скоростью (благодаря расширению сатуратора) поднимается вверх. Происходит насыщение воды известью, и раствор переходит (по трубам *в*) во второй сатуратор. Раствор отводится из второго сатуратора по трубе *г*.

При вертикальном расположении сатураторов (рис. 505), известковое молоко подается по трубе *а* в нижнюю часть верхнего сатуратора, а отсюда периодически перепускается в нижний. Вода подается в нижний сатуратор (по трубе *б*), насыщается известью, попавшей в нижнюю часть этого сатуратора, поднимается вверх и по трубам *в* перепускается в верхний сатуратор и в нем насыщается подаваемой туда свежей известью. Раствор отводится по трубе *г*.

При восходящем движении воды происходит выпадение из нее взвешенных частиц и нерастворенных частиц взвеси и осветление раствора. В верхнем резервуаре происходит вторичное смешение раствора с известковым молоком, гарантирующее полное насыщение раствора. В верхнем отделении также происходит осветление раствора. Осадок (шлам), скапливающийся в нижней части нижнего отделения сатуратора, выпускается из него в сток.

Осветленный насыщенный раствор извести («известковая вода») переливается в сливные желоба, устроенные в верхней части сатуратора, и поступает в смеситель. Вода, поступающая в отмеренных количествах в нижнюю часть сатуратора, путем вытеснения автоматически обеспечивает подачу из верхней части сатуратора равных количеств насыщенного известкового раствора.

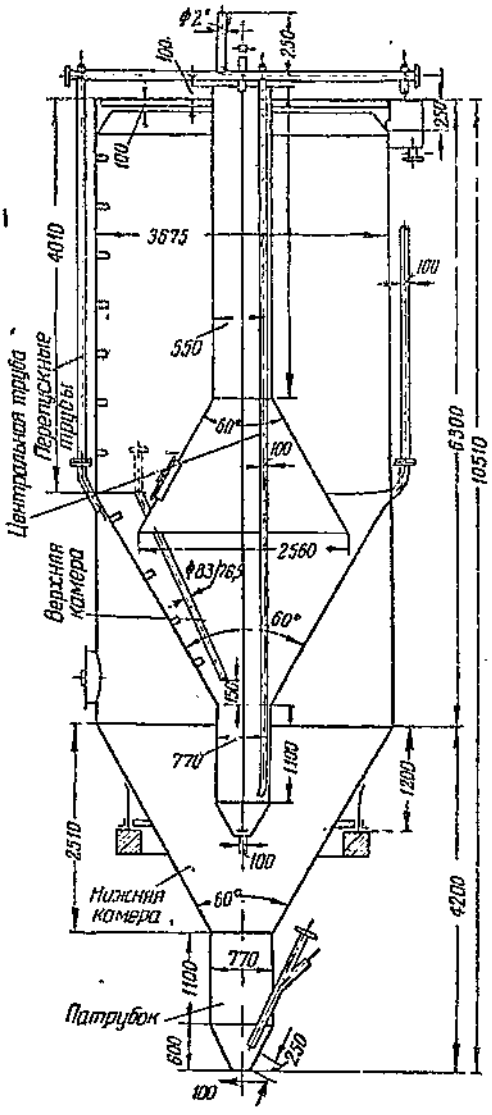


Рис. 506

На рис. 506 представлен типовой сатуратор Главэнергопрома. По проекту производительность таких сатураторов колеблется от 0,5 до 20 $м^3$ раствора в час, диаметры — от 1,0 до 4,7 $м$ и полная высота от 5,3 до 13,0 $м$.

Для улучшения процесса осветления раствора в верхней камере устроена центральная труба с коническим зонтом, захватывающим и удаляющим пузырьки воздуха, выделяющиеся из воды.

При своем подъеме через массы осветленного раствора, эти пузырьки замедляют процесс осаждения взвешенных частиц. При наличии зонта все кольцевое пространство верхней камеры, в котором происходит осветление, будет свободно от пузырьков воздуха. В верхней части сатуратора, применяемого в установке «Струя», для окончательного осветления раствора устраивается фильтр из древесных стружек слоем 0,6—0,8 $м$, заключенных между двумя решетками.

При проектировании сатураторов следует принимать: время пребывания воды в сатураторах 5—6 $час$.; скорость восходящего движения воды — внизу конической части сатуратора — 2—6 $мм/сек$; в цилиндрической части — 0,2—0,3 $мм/сек$.

Расчетная производительность сатуратора определяется в зависимости от количества умягчаемой воды и принятой дозы извести. Зная общее количество извести, которое необходимо вводить в воду, можно определить соответствующую величину часового расхода насыщенного раствора извести. Содержание извести (CaO) в насыщенном растворе зависит от температуры воды и характеризуется цифрами табл. 37.

Для расчета производительности сатуратора следует принимать содержание CaO в насыщенном растворе при наивысшей возможной температуре для данной установки.

Раствор соды находится в баке *а* (рис. 507) и подается в смеситель при помощи бака вытеснителя *б*. Последний свободно плавает

Таблица 37

Температура воды	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°
Содержание CaO в *мг/л*	1 430	1 330	1 230	1 130	1 040	950	860	760	670	580	490

в баке *а* и в него подается количество воды, отмеренное на делительном водосливе *в* и соответствующее количеству раствора соды, которое должно быть подано в умягчаемую воду. Поступая в плавающий бачок *б*, вода заставляет его погружаться в раствор соды и вытеснять в смеситель количество раствора, равное количеству поданной воды. Зарядка бака производится примерно 2 раза в сутки.

Смесители могут употребляться любой из описанных выше систем — дырчатые, ершовые, пропеллерные и др.

Из смесителя вода поступает в отстойник — вертикальный или горизонтальный. Отстойник рассчитывается на время пребывания в нем воды в течение 4 час. — при умягчении без подогрева, 3 часа — при подогреве до 30—60° и 2 часа — при подогреве до 85—90°. В установках системы «Струя» вода перед выходом из отстойника проходит через фильтр из древесных стружек, расположенных между двумя решетками или дырчатыми металлическими листами.

В горизонтальных отстойниках подобный фильтр располагается перед трубой, отводящей воду из отстойника.

Установки для умягчения воды по системе «Струя» имеют большое распространение в СССР и работают на многих предприятиях промышленности и транспорта.

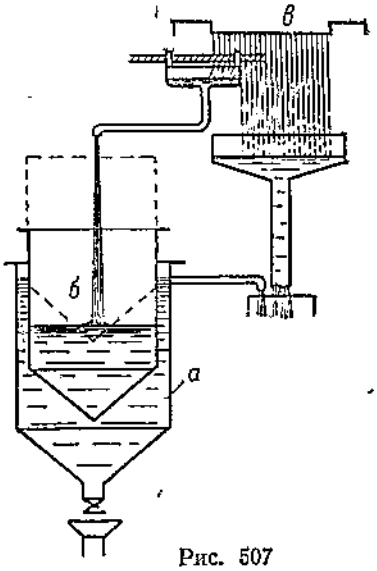


Рис. 507

Некоторые недостатки указанной системы, особенно для крупных установок, потребовали в новейших установках введения ряда усовершенствований и улучшений. Так, вместо дозирования извести в виде насыщенного раствора применяется дозирование известкового молока. Это позволяет избежать устройства сатураторов, которые для крупных установок получаются слишком громоздкими и высокими, что усложняет и удорожает установку.

На современных крупных установках вводится камера реакции на 10—20 мин., располагаемая перед отстойником. Отстойники устраиваются или обычные вертикальные или типа бассейнов Дорра (с механическим удалением шлама). Фильтры из древесных стружек заменяются кварцевыми фильтрами или фильтрами из мраморной крошки.

Если умягчается вода, идущая для коммунальных нужд и требующая других видов очистки — коагулирования, отстаивания и фильтрации — для ее осветления, то реагентное хозяйство для умягчения используется одновременно и для коагулирования, а отстойники и фильтры служат для удаления из воды как естественной мути, так и осадков, выпадающих в результате процесса умягчения.

Для приготовления известкового молока (крепостью 2—5%) служат баки, снабженные приспособлением для поддержания частиц извести во взвешенном состоянии. Такими приспособлениями служат мешалки с вертикальной (рис. 508) или горизонтальной (рис. 509) осью.

На рис. 510 показан способ перемешивания известкового молока при помощи центробежного насоса, одновременно подающего известковое молоко к дозатору и осуществляющего перемешивание остающегося молока в баке.

Всасывающий конец приемной трубы (рукава) поддерживается поплавком вблизи поверхности, а подача молока обратно в бак производится вблизи дна для наилучшего взмучивания оседающих частиц изве-

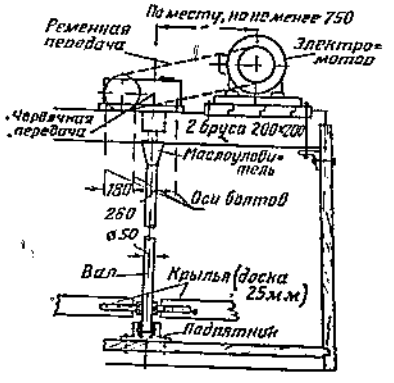


Рис. 508

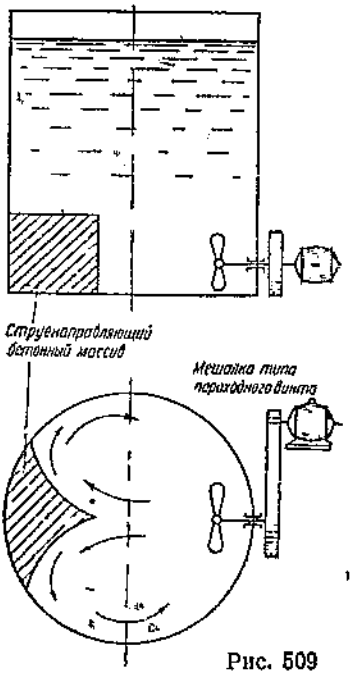


Рис. 509

сти. Часовая производительность насоса должна быть принята равной не менее чем 8-кратному объему бака. Емкость бака определяется, исходя и трех затворений в сутки.

Для дозирования известкового молока, вследствие его способности засорять дозирующие приспособления и арматуру, применяются дозаторы специальной конструкции. На рис. 511 дана схема дозатора Главэнергопрома.

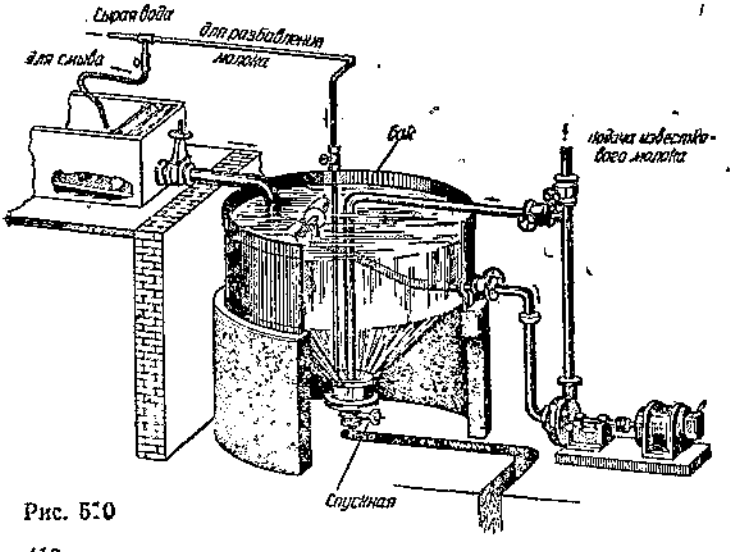


Рис. 510

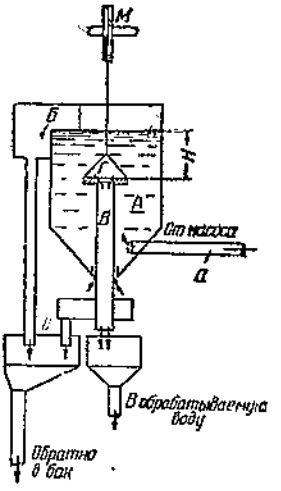


Рис. 511

Известковое молоко подается насосом по трубе *а* в дозирующий бачок *А*, в котором поддерживается постоянный уровень воды благодаря переливу *Б*.

В бачке *А* расположена вертикально подвешенная труба *В*, соединяющаяся через блок *М* с поплавком в водяной камере дозатора (на рисунке не показано). Молоко поступает в трубу *В* через шайбу *Г*. При увеличении подачи воды в водяную камеру уровень воды в ней вместе с поплавком повышается, труба *Б* — опускается и расход воды через шайбу *Г* увеличивается в соответствии с изменением величины ее погружения *Н*. Таким образом доза молока автоматически изменяется в зависимости от изменения расхода воды.

§ 118. Известково-содовый метод умягчения воды с применением рекарбонизации

Введение в умягчаемую воду значительных избыточных доз извести (порядка 25—40 *мг/л*) с последующей продувкой воды углекислотой (рекарбонизацией) получило в последнее время широкое распространение в США. Этот метод применяется как для коммунальных водопроводов, так и для некоторых производств, требующих большой степени умягчения воды.

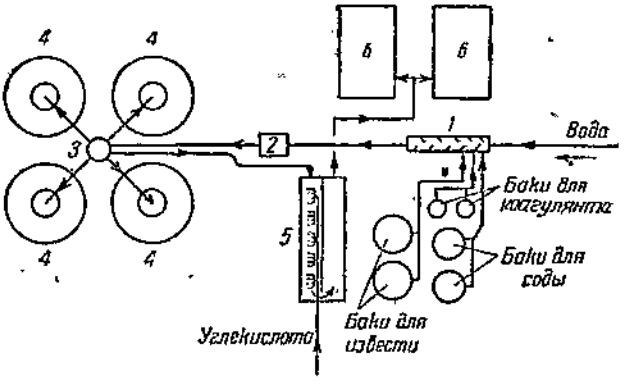


Рис. 512

Этим методом возможно достигнуть (без подогрева) почти полного удаления солей кальция, а также солей магния (затрудняющих процесс умягчения); попутно удаляются соли железа и марганца и удаляются гуминовые соединения.

Технологическая схема установки дана на рис. 512. Все реагенты (включая известковое молоко) вводятся в смеситель *1*, после чего вода поступает в камеру реакции *2* и отстойники *4* через распределительный колодец *3*. Из отстойников вода идет в камеру рекарбонизации *5*, после чего поступает на фильтры *6*. Иногда применяется двойная продувка воды углекислотой.

После вторичной рекарбонизации в воде не останется ни избытков $CaCO_3$, способных давать инкрустацию стенок труб, ни избытка CO_2, способной вызвать разъедание труб.

Процесс первичной рекарбонизации идет по уравнению:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O;$$

вторичной — по уравнению:

$$CaCO_3 + H_2O + CO_2 = Ca(HCO_3)_2.$$

Камеры рекарбонизации устраиваются в виде железобетонных прямоугольных в плане резервуаров, обычно имеющих два отделения, последовательно проходимых водой (рис. 513).

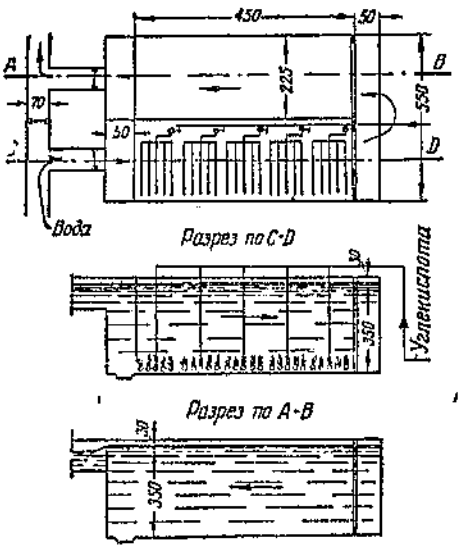


Рис. 513

Камера рассчитана на пребывание в ней воды в течение 20—30 мин. Глубина камеры принимается в 3—3,5 *м*, ширина отделений — 1,5—2,0 *м*. Углекислота подводится в первое отделение камеры по медной (латунной) трубе, имеющей вертикальные отростки, заканчивающиеся у дна камеры системой горизонтальных ответвлений с отверстиями для выпуска газа. Количество углекислоты *C мг/л* определяется в зависимости от принятого избытка вводимой извести *y мг/л*. По формуле $x = \frac{2 \cdot 44y}{56}$, где 44 — молекулярный вес CO_2 и 56 — молекулярный вес CaO. При норме извести 25 *мг/л* требуется 40 *мг/л* углекислоты. Вторые отделения камеры рассчитаны на 10—12-минутное пребывание воды. В них протекает реакция и начинается частичное выпадение осадка.

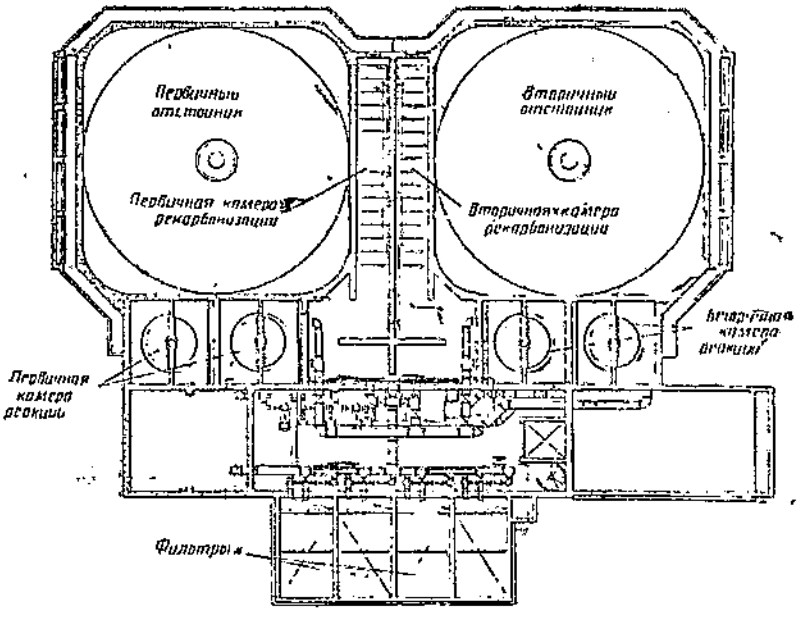


Рис. 514

На рис. 514 показан план установки для умягчения воды с применением рекарбонизации на одной из очистных станций США.

§ 119. Умягчение воды методом обменной реакции

Для умягчения воды может быть использована способность некоторых веществ (пермутитов) обменивать содержащийся в них натрий на кальций или магний солей жесткости, растворенных в воде. Подобная реакция обмена осуществляется путем фильтрования умягчаемой воды через слой измельченного пермутита — на специальных фильтрах. Обозначив состав пермутита за вычетом натрия через *П*, можно представить ход реакции в зависимости от характера солей жесткости следующими уравнениями:

а) Для углекислых (карбонатных) солей:

$$Na_2П + Ca(HCO_3)_2 \rightleftarrows CaП + 2NaHCO_3;$$
$$Na_2П + Mg(HCO_3)_2 \rightleftarrows MgП + 2NaHCO_3.$$

б) Для сернокислых (сульфатных) солей:

$$Na_2П + CaSO_4 \rightleftarrows CaП + Na_2SO_4.$$
$$Na_2П + MgSO_4 \rightleftarrows MgП + Na_2SO_4.$$

в) Для хлористых солей:

$$Na_2П + CaCl_2 \rightleftarrows CaП + 2NaCl;$$
$$Na_2П + MgCl_2 \rightleftarrows MgП + 2NaCl.$$

Реакция является обратимой. При этом происходит некоторое увеличение веса растворимых в воде солей (за счет разницы весов натрия и кальция), щелочность воды увеличивается.

После израсходования всего натрия, содержащегося в пермутите, последний теряет способность умягчать воду. Восстановление этой способности (регенерация) пермутитового фильтра достигается путем пропуска через него раствора хлористого натрия (поваренной соли).

Реакция регенерации может быть представлена уравнением:

$$CaП + 2NaCl = Na_2П + CaCl_2$$

или

$$MgП + 2NaCl = Na_2П + MgCl_2.$$

Эффективность действия пермутита по умягчению воды выражается его обменной способностью или емкостью поглощения.

Количество окиси кальция (CaO) (выраженное в процентах), которое может поглотить единица веса пермутита, называется обменной способностью (по весу) пермутита. При этом имеется в виду полное насыщение пермутита.

Для проектирования фильтров удобно выражать обменную способность пермутита по отношению к его объему.

Количество солей жесткости, содержащихся в воде, можно выразить в так называемых кубоградусах; 1 кубоградус соответствует количеству солей жесткости в 1 $м^3$ воды жесткостью в 1 нем. градус. Емкость поглощения пермутита, выраженная в кубоградусах, показывает, сколько кубометров воды данной жесткости может быть умягчено при помощи, например, 1 *кг* данного пермутита. Если говорится, что емкость поглощения пермутита равна 0,5 кубоградусов на 1 *кг*, это значит, что 1 *кг* данного пермутита способен снизить жесткость 0,5 $м^3$ воды на 1° или 1,0 $м^3$ воды на 0,5° и т. д.

В качестве пермутитов применяются как природные вещества (глаукониты), так и искусственно приготовленные.

В нашей практике водоумягчения широко применяются естественные глауконитовые пески, подвергающиеся предварительной обработке,

а также некоторые искусственные пермутиты. Глауконитовый песок, обработанный на Воскресенском химическом заводе при эффективной величине зерна 0,2 *мм* при коэфициенте неоднородности 2 имеет емкость поглощения 0,3 кубоградуса на 1 *кг* или 420 кубоградусов в 1 $м^3$ (объемный вес — 1 400 *кг*). Емкость поглощения некоторых имеющих применение искусственных пермутитов доходит до 1,75 кубоградусов на 1 *кг* или 1 140 кубоградусов на 1 $м^3$ (объемный вес — 650 *кг*).

Пермутитовые фильтры обычно устраиваются напорными и выполняются в виде стальных цилиндрических резервуаров (рис. 515) вертикальных или иногда — горизонтальных.

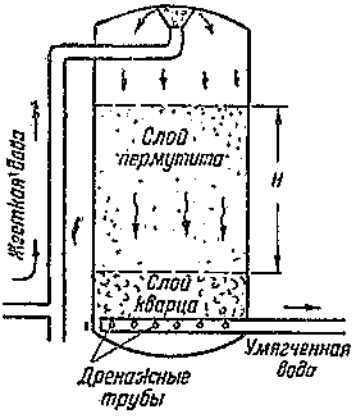


Рис. 515

По проекту Главэнергопрома фильтры изготовляются диаметром от 1,0 до 3,0 *м*. Высота слоя пермутита *H* обычно принимается 1,5 *м*; высота поддерживающих слоев кварца — около 350 *мм*.

Полный цикл работы фильтра слагается из следующих основных этапов: 1) фильтрования умягчаемой воды; 2) промывки (взрыхления) фильтрующего материала; 3) регенерации фильтра путем пропуска через него раствора соли (рассола); 4) отмывки фильтра от соли.

Для проведения перечисленных операций фильтр оборудован системой трубопроводов и задвижек, показанных схематически на рис. 516.

При первом этапе работы (рис. 516, *а*) сырая вода подается по трубе *А*, проходит сверху вниз слои пермутита и кварца и отводится через дренажную систему по отводной трубе *Б*.

При втором этапе (рис. 516, *б*) вода на фильтр подается из промывного бака *К* по трубе *В*, проходит через дренажную систему и поднимается снизу вверх; проходя слои кварца и пермутита, взрыхляет последние и промывает их от возможных загрязнений. Отвод промывной воды с фильтра происходит по трубе *А* и сброс — по трубе *Г*.

Третий этап (рис. 516, *в*) заключается в подаче на фильтр раствора соли по трубе *Д*, из специального солерастворителя. Предварительно вода с фильтра спускается так, чтобы ее уровень был на 10 *см* над поверхностью слоя пермутита. Раствор проходит фильтр сверху вниз и сбрасывается по трубе *Е*.

При четвертом этапе (рис. 516, *г*) для отмывки фильтра от рассола подается по трубе *А* неумягченная вода, которая проходит сверху вниз слои пермутита. Первые порции этой воды сбрасываются по трубе *Е*, остальная часть подается в промывной бак (по трубе *В*) для его пополнения.

После наполнения бака промывная вода снова поступает в сток.

На рис. 516 показано расположение и использование задвижек, которыми оборудован фильтр.

В отличие от известково-содового способа при пермутитовом умягчении размеры установки зависят от жесткости природной воды. При известково-содовом способе, как известно, различная жесткость умягчаемой воды отражалась лишь на дозе расходуемых реагентов. При расчете пермутитовых фильтров заданными являются: расход воды *Q* $м^3$/*сутки*, ее общая жесткость *n* нем. градусов и обменная способность намечаемого к использованию пермутита. Общий объем полезной работы фильтра, выраженный в кубоградусах в сутки, будет *nQ*.

Обменная способность. 1 $м^3$ пермутита принимается в зависимости от рода пермутита и снижается до 70—80% от нормальной при на-

личии загрязнений в умягчаемой воде. Так как часть обменной способности (e) пермутитового фильтра используется на умягчение промывной воды, для определения объема пермутита следует принимать его обменную способность за один цикл работы равной: $e - nq_0$ для 1 $м^3$ пермутита, где q_0 — количество воды на отмывку, составляющее 3—3,5 $м^3$ на одну регенерацию. Требующийся полный объем пермутита $W = \frac{nQ}{m(e - nq_0)}$, где m — число циклов в сутки, обычно принимаемое $m = 4$. Общая площадь фильтров: $\omega = \frac{W}{h}$, где h — высота слоя пермутита, обычно равная 1,5 $м$. На рис. 517 показан фильтр по стандарту Главэнергопрома.

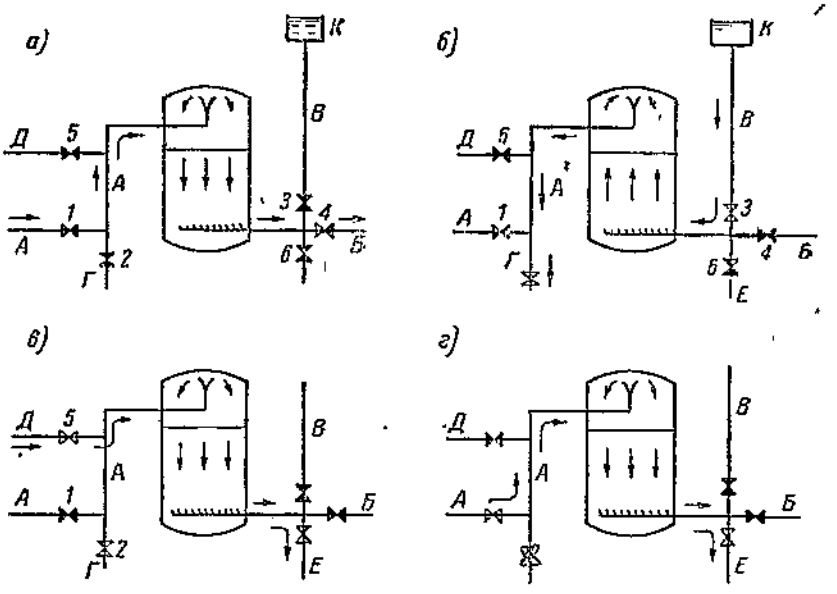


Рис. 516

Величина скорости фильтрации v назначается в зависимости от жесткости воды. При жесткости до 10° $v = 15$ $м/час$, при жесткости 10—20° $v = 10$ $м/час$ и при жесткости более 20° v снижается до 5 $м/час$. Величина скорости фильтрации

$$v = \frac{Q}{\omega(24 - t_n)} \ м/час,$$

где t — время, идущее на все операции, связанные с одной регенерацией фильтра. Обычно принимают $t = 1{,}5$ часа для глауконитовых фильтров и $t = 2{,}0 \div 2{,}5$ — для фильтров искусственного пермутита.

Чтобы сохранить скорость фильтрации постоянной, следует предусмотреть запасный фильтр, включаемый в работу на время регенерации одного из действующих фильтров. Регенерация фильтра требует довольно значительного добавочного расхода воды, слагающегося из следующих величин: а) расхода на промывку фильтра, которая ведется с интенсивностью 4—5 $л/сек$ на 1 $м^2$ и длится около 10 мин.; б) сброса воды с фильтра перед напуском рассола (сбрасывается слой высотой около 0,8 $м$); в) расхода воды на собственно регенерацию, определяемого в зависимости от величины емкости поглощения фильтра (выра-

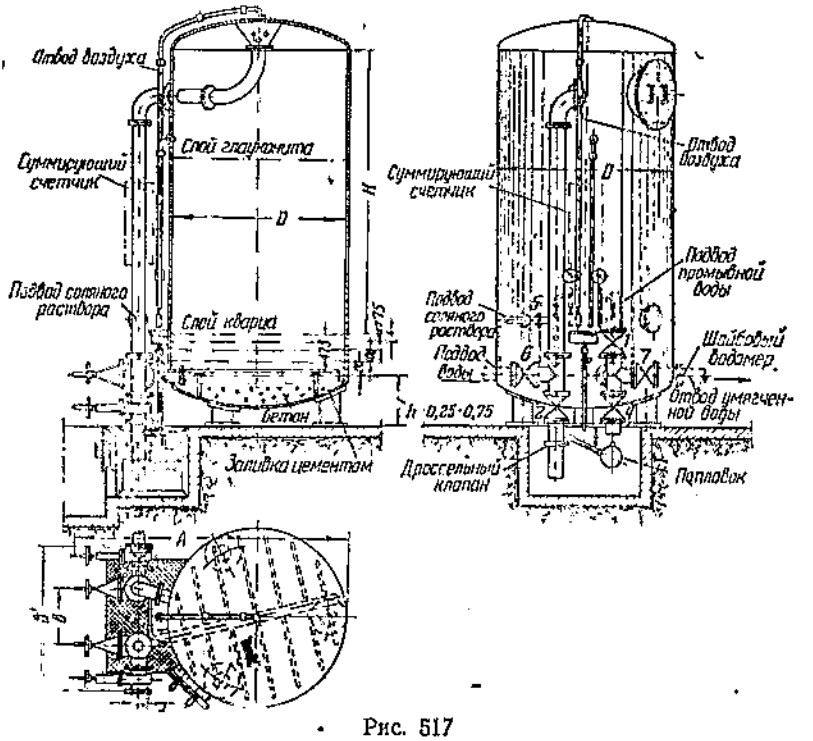
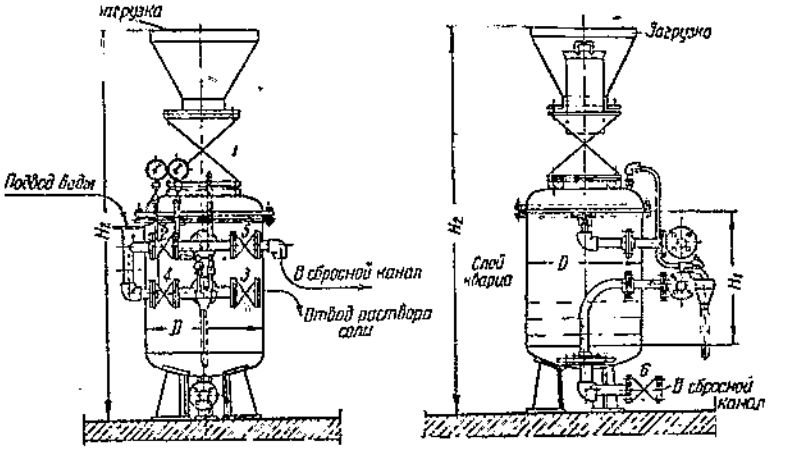


Рис. 517



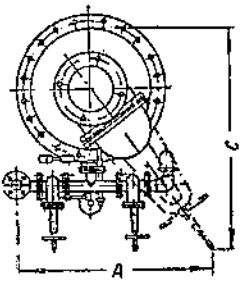


Рис. 518

жесткой в куботрадусах). На регенерацию 1 куботрадуса практически требуется 70—90 *г* соли; крепость раствора соли — 10%; продолжительность регенерации — 10 мин., процентное содержание чистой NaCl в продажном продукте — 95%; г) расхода на отмывку фильтра от соли, составляющего около 3,5 $м^3$ на 1 $м^3$ объема пермутита; скорость подъема воды — 7 *м/час;* время отмывки — 35—60 мин.

Солерастворитель (по стандарту Главэнергопрома) показан на рис. 518.

К основным достоинствам пермутитового способа умягчения относится возможность почти полного уничтожения жесткости (до 0,1°), отсутствие сложных дозирующих приспособлений для реагентов и простота эксплоатации при очистке вод с переменной жесткостью.

Недостатками этого способа являются: возрастание общего количества растворенных в воде солей, обогащение воды щелочами (за счет перехода карбонатной жесткости в бикарбонат натрия), необходимость предварительного освобождения воды от взвеси, значительный добавочный расход воды на процессы, связанные с регенерацией (расход этот возрастает пропорционально жесткости воды).

В силу указанных недостатков пермутитовый метод умягчения следует применять преимущественно для прозрачных (подземных) вод, для воды, имеющей общую жесткость не более 20—30°, и для воды, обладающей преимущественно некарбонатной жесткостью.

Перечисленные недостатки вызвали применение комбинированного известково-пермутитового метода умягчения, где вода подвергается сперва известкованию, для удаления солей карбонатной жесткости и затем поступает для окончательного умягчения на пермутитовые фильтры. При умягчении мутной воды на пермутитовых фильтрах ее предварительно осветляют, проводя через песчаный кварцевый фильтр.

Глава XV

СПЕЦИАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ВОДЫ

§ 120. Обезжелезивание воды

В водах подземных источников железо встречается в виде раствора двууглекислых [$Fe(HCO_3)_2$], сернокислых ($FeSO_4$) или гуминовокислых его солей.

Двууглекислое железо встречается всего чаще, и удаление его достигается наиболее просто. Будучи нестойким соединением, $Fe(HCO_3)_2$ легко отдает углекислоту, образуя гидрат закиси железа $Fe(OH)_2$:

$$Fe(HCO_3)_2 = 2CO_2 + Fe(OH)_2.$$

При обогащении воды кислородом $Fe(OH)_2$ переходит в гидрат окиси железа $Fe_2(OH)_6$, нерастворимый в воде:

$$2Fe(OH)_2 + O + H_2O = Fe_2(OH)_6.$$

$Fe_2(OH)_6$ выпадает из воды в виде хлопьев окиси железа.

Удаление из воды железа на очистных станциях осуществляется путем аэрации воды с последующим отстаиванием и фильтрованием через песочные фильтры для задержания выделившихся хлопьев окиси железа. Процесс обезжелезивания идет легко для воды с относительно большим содержанием железа. Наоборот, малые дозы железа (0,1—0,2 *мг/л*) плохо поддаются удалению.

Для аэрации воды применяются ее разбрызгивание в виде дождя, обтекание тонким слоем больших поверхностей и т. д.

На рис. 519 показана установка для обезжелезивания; вода подводится по трубам к душевым сеткам и падает с высоты около 2 *м* в резервуар, в нижней части которого расположен песчаный фильтр.

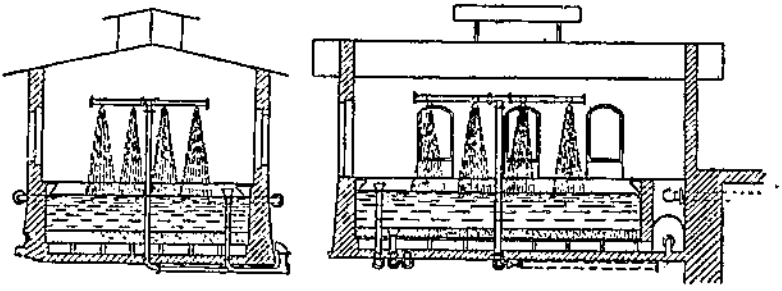


Рис. 519

На рис. 520 представлена градирня — аэратор, в которой вода проходит последовательно через несколько слоев шлака (с размером кусков около 10 *см*), расположенных один над другим и покоящихся на деревянных колосниках. Высота слоев шлака 30—50 *см* и прослоек воздуха между ними 20—30 *см*. Вместо шлака может применяться гематит (железная руда). Распределение воды по поверхности градирни производится при помощи распределительных желобов, расположенных непосредственно над верхним слоем загрузки или путем разбрызгивания воды через сетки или брызгала, т. е. комбинированием способов аэрации (рис. 519 и 520). Для градирни можно принять расчетную производительность ее на 1 $м^2$ площади в 3—4 $м^3$ очищаемой воды в час. При условии предварительного разбрызгивания и дождевого падения воды возможно увеличение указанной производительности примерно в 3 раза.

Пройдя градирню, вода поступает в отстойник и затем на песчаный фильтр для освобождения от выпадающих хлопьев окиси железа. Время пребывания воды в отстойниках принимается в 2—3 часа. В обезжелезивающих установках преимущественное распространение имеют горизонтальные отстойники.

Песчаный фильтр рассчитывается по скорости фильтрации 2—4 *м/час*. Высота слоя песка 60—70 *см;* крупность зерен—0,5—1,0 *мм*. При образовании легко выделяющихся хлопьев и небольшом содержании железа в очищаемой воде можно обойтись без отстойника. Фильтр в этом случае загружается крупным песком с диаметром зерен — 1—3 *мм* при толщине слоя 35—40 *см*.

Подобные установки открытого типа громоздки и в последнее время заменяются установками напорного типа.

На рис. 521 показана напорная установка, представляющая комбинацию контактного оросителя *Б* и песчаного мешалочного фильтра *В*. Вся установка смонтирована в стальном котле *А*. Сырая вода поступает по трубе *а;* для ее аэрации при помощи компрессора вдувается воздух (по трубе *б*). Насыщенная воздухом вода поднимается по трубе в нижнюю часть котла и проходит снизу вверх контактный слой кокса или гравия. Далее по трубе *в* вода поступает на фильтр и, пройдя через слой песка, отводится по трубе *г*. Скорость фильтрации 6—12 *м/час*. Остальные трубы, показанные на рис. 521, служат для промывки оросителя и фильтра. Иногда применяются двухъярусные напорные фильтры.

Для освобождения воды от сернокислого железа производится известкование воды. Реакция идет по уравнению:

$$FeSO_4 + Ca(OH)_2 = Fe(OH)_2 + CaSO_4.$$

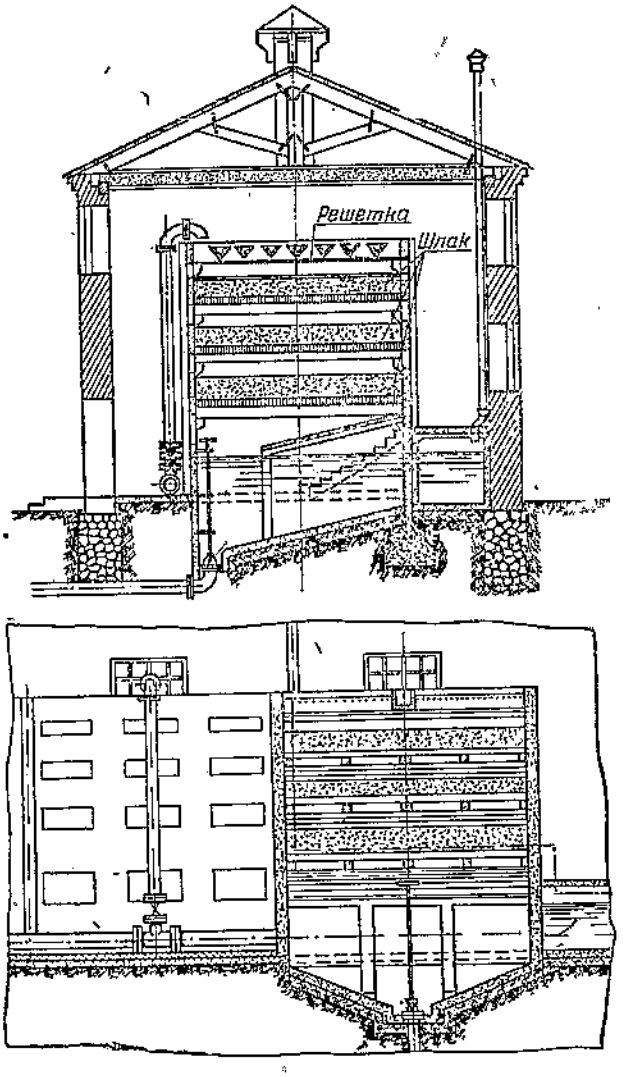


Рис. 520

Далее реакция идет, как описано выше: $Fe(OH)_2$ благодаря аэрации переводится в $Fe_2(OH)_6$ и выпадает из воды. Гуминовокислое железо может быть удалено из воды путем ее коагулирования [при помощи $Al_2(SO_4)_3$].

В этом случае может быть применено перехлорирование воды с последующим дехлорированием. Разрушая гуминовые вещества, хлор помогает окислению $Fe(OH)_2$, его переходу в нерастворимую форму и выпадению из воды.

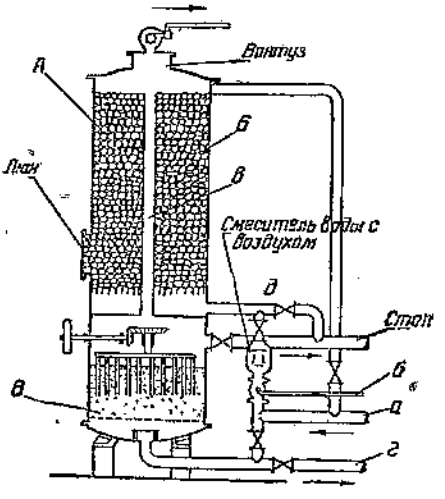


Рис. 521

§ 121. Дегазация воды

В практике водоочистки приходится иметь дело с освобождением воды от следующих растворенных в ней газов: углекислоты, сероводорода и кислорода. Удаление газов из воды может быть достигнуто физическим или химическим методом.

Первый метод основан на свойстве газов выделяться из воды при увеличении поверхности ее соприкосновения с воздухом, при понижении давления над поверхностью воды и при увеличении температуры.

Простейшим и наиболее распространенным из физических методов удаления из воды газов является аэрирование воды, которое достигается пропуском ее через градирню, дождеванием, фонтанированием или вдуванием воздуха.

При дождевании высота падения воды принимается не более 2—3 *м*. Для фонтанирования (разбрызгивания), дающего больший эффект благодаря двойному пути капель воды (вверх и вниз) могут быть использованы брызгала того же типа, который применяется при охлаждении воды. Обычно задаются напором у брызгал порядка 8 *м*, что обеспечивает скорость истечения около 12 *м/сек*. Количество разбрызгиваемой воды на 1 $м^2$ площади оросителя (бассейна) принимают в 1 $м^3/час$.

Помещения, в которых располагаются разбрызгивающие или дождевальные установки, должны быть хорошо вентилируемы.

В градирнях, применяемых при аэрации, может быть использовано обтекание водой загрузки из кусков кокса или шлака, а также падение и разбрызгивание воды в деревянных дощатых клетках, как это имеет место в градирнях при охлаждении воды.

Аэрация вдуванием воздуха в воду производится в специальных закрытых камерах — аэраторах.

Воздух в камеру нагнетается компрессором по дырчатым трубам и вводится в воду на глубине около 3 *м* от верха камеры. Аэрируемая вода пребывает в камере 15—20 мин. Количество воздуха, потребное для аэрации, составляет 0,4—1,2 *л* на 1 *л* воды.

Интенсивность выделения газов из воды увеличивается, если уменьшить давление в пространстве, в котором производится разбрызгивание воды. Одновременное повышение температуры еще более способствует выделению газов. Дегазация в вакууме или в вакууме с подогревом производится в специальных закрытых котлах, из которых воздух и выделяющиеся из воды газы отсасываются вакуумнасосом.

При помощи таких устройств вода может быть почти полностью освобождена от содержащихся в ней газов. Подобные требования предъявляются к воде, идущей для питания котлов высокого давления.

Химические методы дегазации различны для удаления различных газов. Удаление углекислоты достигается фильтрованием воды через слой измельченного известняка, мрамора или полуобнаженного доломита. Для той же цели применяется известкование воды; для нейтрализации 1 *мг/л* CO_2 требуется 0,635 *мг/л* CaO.

Для удаления из воды кислорода применяется фильтрование ее через слой железных опилок, которые, окисляясь, поглощают кислород.

Удаление кислорода может быть достигнуто также при обработке воды сернокислым натрием:

$$2Na_2SO_3 + O_2 = 2Na_2SO_4.$$

§ 122. Обессоливание воды

Обессоливание, т. е. освобождение воды от всех содержащихся в ней солей, бывает необходимо при использовании воды морей или сильно минерализованной озерной воды. Кроме того, обессоливание

может потребоваться для воды других источников, идущей для питания котлов высокого давления.

Единственным методом обессоливания, имеющим в настоящее время практическое применение, является выпаривание. На рис. 522 представлены схемы установок для выпаривания; на рис. 522, *а* дана схема простейшей установки, состоящей из котла и конденсатора с водяным охлаждением. На рис. 522, *б* представлена схема более экономичной установки, многоступенчатого опреснителя, в котором используется теплота пара. Вода, обращается в пар в первом котле, поступает в змеевик второго котла и, конденсируясь, отдает свое тепло воде, находящейся во втором котле. Полученный во втором котле пар более низкого давления поступает в третий котел и т. д.

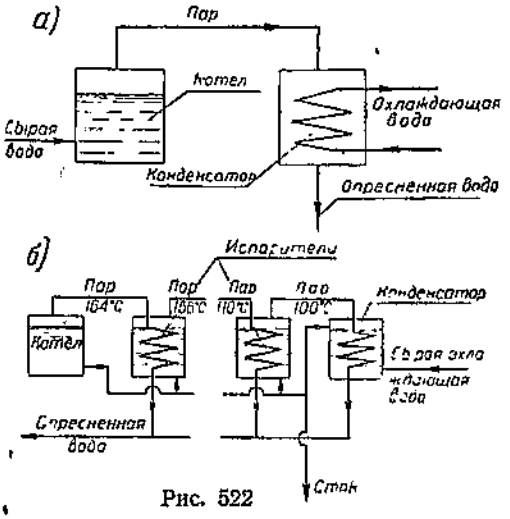


Рис. 522

Последним звеном в этой цепи является конденсатор, охлаждающий пар из последнего котла.

Глава XVI

ВЫБОР СХЕМЫ и КОМПОНОВКА ВОДООЧИСТНЫХ СТАНЦИЙ

§ 123. Общие принципы компоновки очистных станций

Выбор рациональной схемы водоочистной станции, а также взаимного расположения и связи входящих в нее сооружений производится в соответствии с принятым технологическим процессом очистки воды и зависит от производительности станции и от местных условий.

Вопрос о месте расположения очистной станции решается при выборе схемы водоснабжения объекта в целом. В большинстве случаев очистные сооружения располагаются вблизи источника водоснабжения и, следовательно, в незначительном удалении от насосной станции I подъема.

Наибольшее распространение в практике водоочистки имеет самотечная схема движения воды на очистных сооружениях. Поданная насосами I подъема вода самотеком проходит последовательно все очистные сооружения и поступает в сборный резервуар, из которого забирается насосами II подъема. Таким образом резервуар чистой воды непосредственно связан с комплексом очистных сооружений и должен быть расположен вблизи от них так же, как и насосная станция II подъема.

Решению вопроса о компоновке очистных сооружений должен предшествовать выбор схемы технологического процесса очистки воды с учетом возможности автоматизации работы сооружений, а также установление типа, числа и размеров отдельных сооружений (отстойников, фильтров и т. п.).

При осуществлении самотечного движения воды в очистных сооружениях следует наиболее целесообразно использовать рельеф местно-

сти для достижения наименьшей стоимости работ по постройке станции (т. е. минимального заглубления отдельных сооружений, минимального количества земляных работ, недорогих фундаментов и т. п.).

При проектировании очистных станций составляют предварительно высотную схему (рис. 523), уточняемую в процессе проектирования.

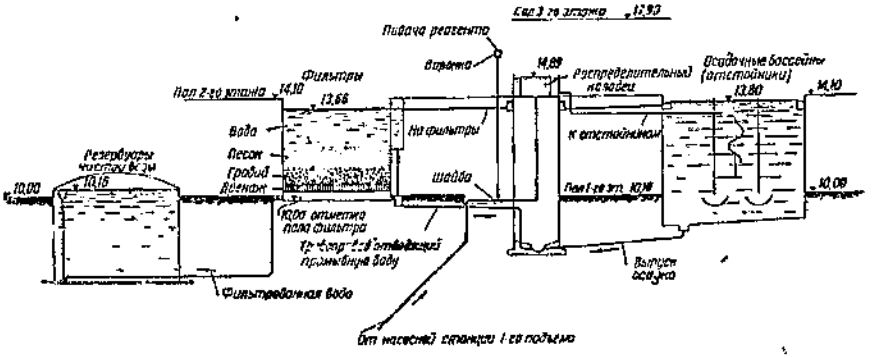


Рис. 523

Высотная схема устанавливает зависимость между уровнями воды и характерными отметками отдельных элементов очистной станции. Схему составляют, задавшись отметкой уровня в резервуаре чистой воды. Этот уровень, во избежание возможного загрязнения воды, должен быть на 15—30 *см* выше поверхности земли у резервуара. Учитывая обычные величины потерь напора на отдельных сооружениях и в соединяющих их трубопроводах, вычисляют требуемые отметки уровней воды для остальных сооружений.

При этом можно ориентировочно принимать следующие величины потерь напора в метрах: от фильтров до резервуара — 0,50; на фильтрах — 3,00; от отстойников до фильтров — 0,10—0,15; в камере реакций — 0,40—0,60; от смесителя до камеры реакций — 0,10; в смесителе — 0,30—0,40.

При назначении высотной схемы следует предусмотреть возможность спуска воды с отдельных сооружений, выпуск осадка, отвод промывной воды и т. п.

В зависимости от падения отметок местности в пределах площадки, выбранной для расположения очистных сооружений, определяется расстояние между отдельными сооружениями и степень их заглубления в землю для обеспечения самотека. В благоприятном случае уклон местности, близко соответствующий разности отметок, принятой по высотной схеме, позволяет компактно расположить все сооружения и не вызывает необходимости их излишних заглублений. В этом отношении вполне горизонтальная площадка представляется невыгодной.

Рационально запроектированная схема компоновки очистных сооружений должна: 1) быть компактной — для сокращения затрат на ее сооружение и для удобства обслуживания; 2) наилучшим образом использовать рельеф местности для сокращения затрат на строительство; 3) обеспечивать наиболее простую схему движения воды по сооружениям; 4) обеспечивать возможность расширения без перестройки или нарушения нормальной эксплоатации сооружений, построенных в первую очередь строительства; 5) удовлетворять условиям МПВО в отношении деления на отсеки, наличия резервных элементов, соблюдения разрывов между сооружениями и наличия обходных и запасных линий.

Кроме сооружений, предназначенных непосредственно для обработки воды, очистные станции включают вспомогательные и обслуживающие помещения: а) лаборатории, б) мастерские, в) склады реа-

тентов, г) помещения для руководящего и обслуживающего персонала, для дежурных и охраны.

Расположение жилых помещений в зданиях очистных станций не допускается.

§ 124. Типовые схемы компоновки

Опыты проектирования водоочистных станций и проведение технико-экономического анализа различных схем компоновки очистных сооружений позволяют установить основные типовые схемы в зависимости от количества обрабатываемой воды и характера ее очистки.

Ниже приведены схемы компоновки станций: а) осветления и обеззараживания воды, б) умягчения воды.

На рис. 524 представлена схема компоновки, обычная для станций с суточной производительностью не более 20 000—30 000 $м^3$. Центральную часть станции занимает здание реагентного хозяйства. В этом же здании расположены все вспомогательные помещения.

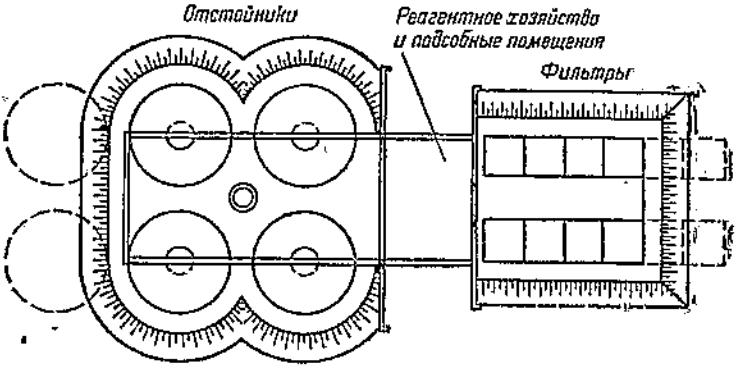


Рис. 524

С одной стороны от этого здания расположена группа вертикальных отстойников с центральными камерами реакции, а с другой — группа фильтров, установленных в два параллельных ряда со служебным коридором между ними.

Отстойники и коробки фильтров предполагаются железобетонными.

На плане показаны контуры здания. Компоновка обеспечивает возможность беспрепятственного расширения всех сооружений станции (пунктир).

При суточной производительности станции более 20 000 $м^3$ показанная компоновка вызывает чрезмерное удлинение станции, и более удобной является компоновка, представленная на рис. 525.

Для станций еще большей производительности (более 30 000 $м^3$), при которой обычно применяются горизонтальные отстойники, типовая схема представлена на рис. 526. Прямоугольные лопастные камеры реакции расположены по две у торцевой части каждого отстойника.

Все приведенные схемы предусматривают расположение отдельных групп сооружений в непосредственной близости одна от другой. Это обеспечивает удобство обслуживания всей станции.

Для крупных станций (на 150—200 тыс. $м^3$) отдельные группы сооружений приходится располагать в самостоятельных зданиях в некотором отдалении друг от друга для возможности их расширения и исходя из соблюдения условий ПВО.

Схема такой компоновки представлена на рис. 527. Разрыв между отдельными сооружениями принимается порядка 20 $м$.

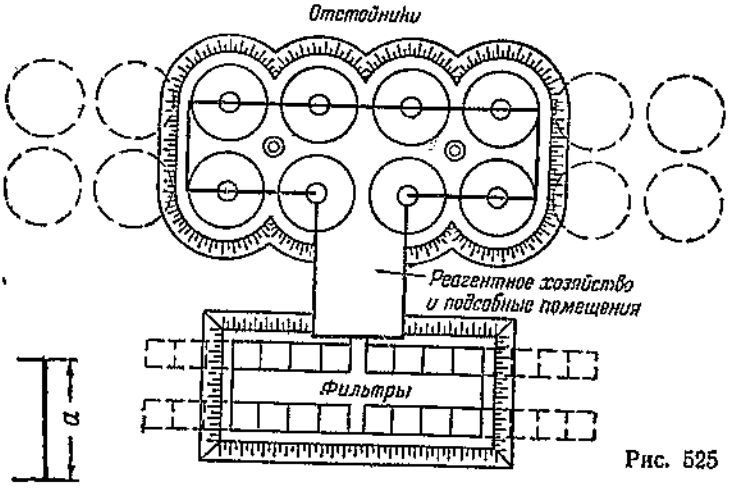


Рис. 525

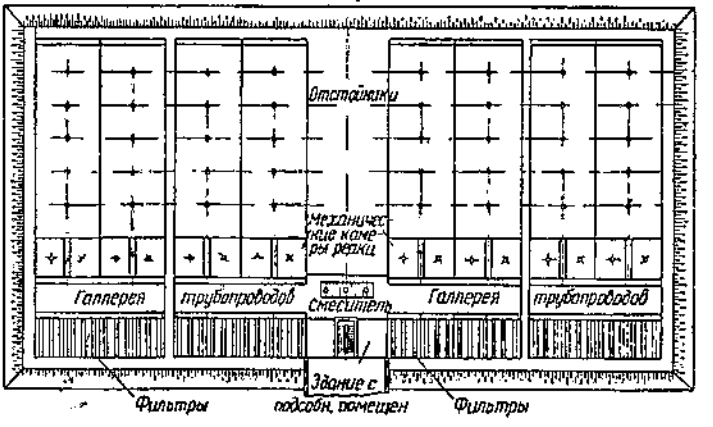


Рис. 526

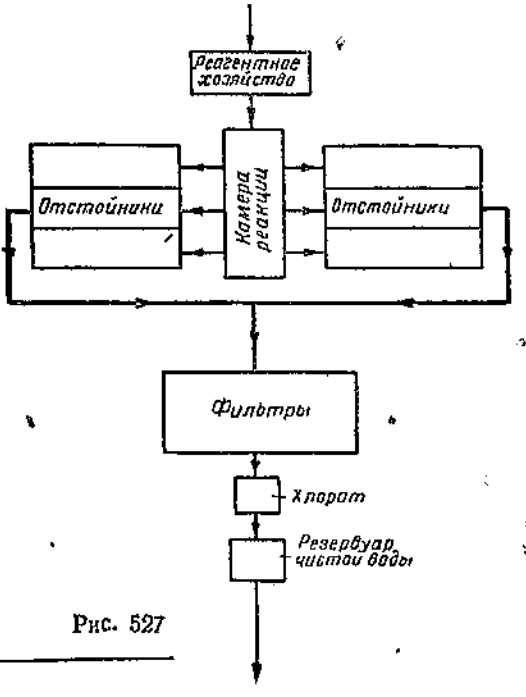


Рис. 527

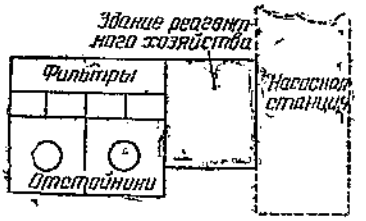


Рис. 528

При выборе схемы компоновки очистных сооружений необходимо рационально разрешать вопрос о их связи с насосной станцией II подъема.

В малых установках бывает выгодно расположить очистную станцию в непосредственной близости от насосной станции II подъема, при этом насосы для промывки фильтров могут быть расположены в помещении насосной станции.

На рис. 528 представлена схема станции осветления для малой производительности (до 2 500—3 000 *м³/сутки*). Отстойники и фильтры располагаются в одном общем здании.

Ряд современных очистных станций оборудован автоматическими устройствами, а также пультами для дистанционного управления отдельными процессами.

Одно из основных требований, которое должно быть предъявлено к схеме водоочистных станций с точки зрения МПВО, — это устройство обводных линий.

Эти линии необходимы для повышения надежности работы очистных сооружений и возможности выключения в случае аварии их отдельных элементов. Такие линии (рис. 529) должны быть уложены в обход смесителя и камеры реакции *а*, в обход отстойников *б*, в обход фильтров *в*, в обход резервуаров чистой воды *г* и, наконец, в обход всего комплекса сооружений для возможности подачи воды от насосов I подъема непосредственно в резервуары чистой воды. Последняя обводная линия *д* должна быть уложена не ближе 50 *м* от зданий и сооружений станции.

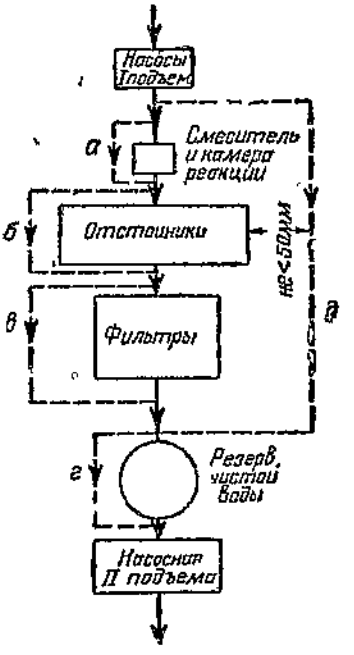


Рис. 529

Так как при аварии отдельных элементов очистных сооружений и их выключении качество воды, подаваемой потребителям, ухудшится, надо предусмотреть возможность хлорирования воды в нескольких точках очистной станции. Для этого должны быть устроены дополнительные хлораторные у насосной I подъема, а также аварийные дублирующие установки помимо обычных хлораторных.

§ 125. Подсобные помещения

Станция очистки воды должна иметь помещения для подсобных нужд и для обслуживающего персонала. К таким помещениям относятся: лаборатории, мастерские, склады реагентов, кабинет заведующего станцией, помещения для обслуживающего штата и для дежурных.

Лаборатория нужна при очистной станции для производства анализов воды до и после прохождения отдельных стадий очистки.

Работа лабораторий обеспечивает постоянный контроль за качеством воды, позволяет следить за изменением качества воды источника и фильтрата и вносить соответствующие изменения в дозировку реагентов.

В станциях средней производительности лаборатория размещается во втором или третьем этаже здания реагентного хозяйства и подсобных помещений или в верхних этажах здания фильтров. Площадь лаборатории, в зависимости от размеров станций — 15—50 *м²*. Мастерские для мелкого текущего ремонта механического оборудования помещаются в первом этаже здания подсобных помещений и имеют площадь 15—25 *м²*.

Кабинет заведующего (10—15 *м²*) и комната обслуживающего персонала (15—20 *м²*) размещаются в здании реагентного хозяйства в первом или втором этаже.

Для определения площади складов реагентов можно руководствоваться следующими соображениями: склады должны быть рассчитаны на хранение одно-двухме-

сячного запаса коагулянта, извести, хлорной извести, соды, хлора и т. п. Расположение склада должно обеспечивать удобную подвозку к нему материалов (с путей железной дороги, автомашинами и т. д.) и удобной подачи реагента в здание реагентного хозяйства. Площадь склада коагулянта для хранения двухмесячного запаса сернокислого алюминия при дозе его расходования в a *мг/л* и содержании c% (в продажном продукте), удельном весе 1,6, навалке слоем в 1,3 *м*, при условии, что пустота между кусками составляет 30%, определяется формулой:

$$\omega = 250\frac{aQ}{c}\ м^2,$$

где Q — суточная производительность станции в $м^3$.

По тем же принципам определяется площадь склада для извести, хлорной извести, соды. При этом надо учитывать характер упаковки реагентов; хлорная известь и сода часто упаковываются в бочках весом около 100 *кг*.

§ 126. Сооружения для очистки воды во временных водоснабжениях

Во временных водоснабжениях применимы водоочистные установки деревянных конструкций с простейшими приспособлениями для дозирования реагентов и т. д.

На рис. 530 показана схема подобной установки для фильтрования и обеззараживания воды, разработанная институтом Водгео для про-

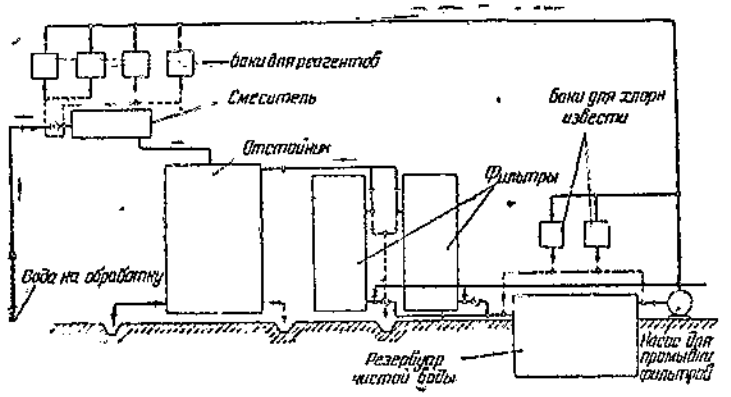


Рис. 530

изводительности в 10 *м³/час*. При соответствующем увеличении размеров подобное устройство может быть применено и для больших производительностей, например, до 100 *м³/час*.

Размеры устройств могут приниматься по табл. 38.

Таблица 38

Производительность в *м³/час*	Отстойники			Фильтры		Размеры баков для расхода реагентов				Емкость резервуаров для промывки в *м³*
						для хлорной извести		для сернокислого алюминия		
	число	диаметр отстойника в *мм*	диаметр центральной трубы в *мм*	число	диаметр в *мм*	диаметр в *м*	высота в *м*	диаметр в *м*	высота в *м*	
10	2	2,0	0,75	2	1,3	0,7	0,6	0,7	0,7	8
20	2	2,9	1,0	2	1,9	0,7	0,85	0,8	1,0	16
30	2	3,5	1,3	2	2,3	0,8	0,95	0,8	1,2	24
40	2	4,0	1,5	2	2,6	0,8	1,2	1,1	1,0	32
60	2	5,0	1,8	2	3,2	1,1	1,0	1,1	1,2	48
80	4	4,0	1,5	2	3,7	1,1	1,2	1,1	1,3	64
100	4	4,5	1,6	4	2,4	1,8	1,2	1,3	1,3	72

Смеситель — дырчатого типа с поплавком, который управляет дроссель-клапаном, регулирующим количество поступающей воды. Отстойники, в числе двух, деревянные (рис. 531), с рабочей высотой 3,3 *м*, с временем пребывания воды 2 часа, с восходящей скоростью 0,5 *мм/сек*. Центральная труба отстойника является камерой реакции с пребыванием в ней воды в течение 15 мин. Фильтры, числом два, в виде деревянных цилиндрических баков (рис. 532); песок с крупностью зерен 0,4—1,2 *мм* слоем 0,7 *м* лежит на слое гравия в 0,6 *м* с крупностью зерен 2—16 *мм*. Дренаж — из металлического листа с отверстиями, уложенного на уголки, которые в свою очередь опираются на деревянные бруски, укрепленные на баке фильтра.

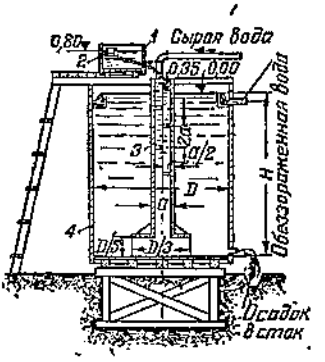


Рис. 531

Скорость фильтрации — 3,75 *м/час*; интенсивность промывки 12,5 *м/сек* на 1 *м*²; продолжительность промывки — 5 мин.

При устройстве водоочистных установок меньшей производительности можно руководствоваться данными для установки на 1 *м*³*/час*, также разработанной институтом Водгео (рис. 533). Здесь два периодически попеременно действующих отстойника *А*. Каждый из них представляет собой деревянный цилиндрический бак с внутренним диаметром 1,15 *м* и высотой 1,4 *м*, собранный из клепок и стянутый бандажами из круглого железа диаметром 12 *мм*.

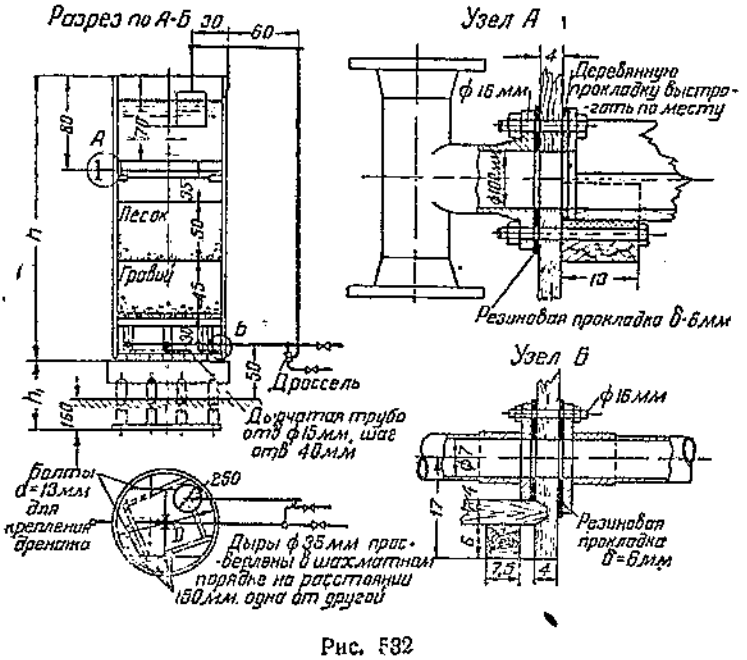


Рис. 532

Над отстойниками — три деревянных бочки *Б* для растворов коагулянта, извести и хлорной извести. Растворы этих реагентов поступают в отстойники по деревянному жолобу *Д*. Отстоявшаяся вода по шлангам направляется на два фильтра *И*.

Каждый из них — деревянный цилиндрический бак (рис. 534) с внутренним диаметром 0,55 *м*, высотой ~1,4 *м* из клепок, стянутых бандажами диаметром 12 *мм*.

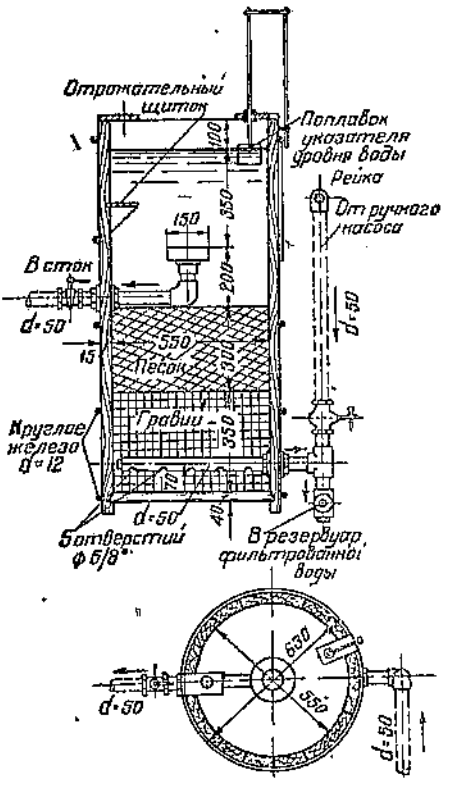


Рис. 534

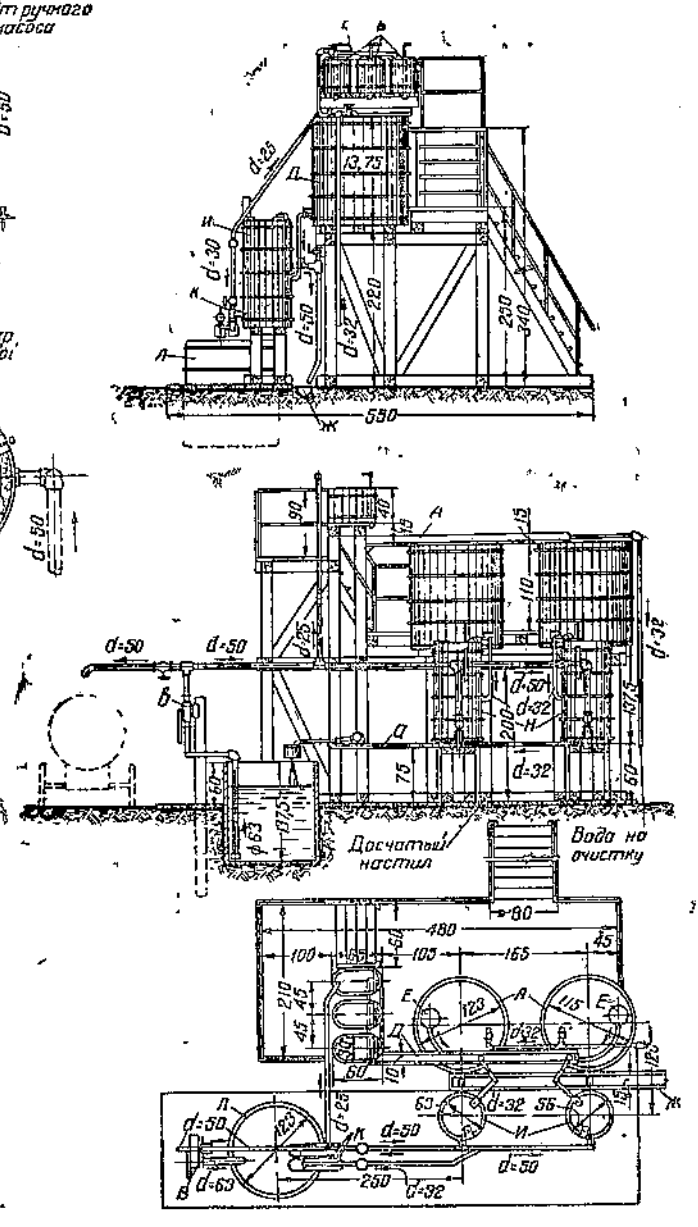


Рис. 533

Из фильтров вода, пройдя регуляторы скорости фильтрации *К*, поступает в сборный резервуар *Л*. Из последнего происходит раздача воды; из него же берется и вода для промывки фильтра ручным насосом.

РАЗДЕЛ ПЯТЫЙ

ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ, ЗАПАСНЫЕ И ВОДОНАПОРНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ, ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Глава XVII

ВОДОНАПОРНЫЕ БАШНИ И КОЛОННЫ

§ 127. Общие указания

Водонапорные башни и колонны, так же как и надземные и подземные резервуары и пневматические установки, относятся к числу основных сооружений системы водопровода.

Наличие тех или иных сооружений определяется принятой схемой водопровода, но в большинстве водопроводных систем осуществляются только отдельные из названных сооружений — башни, резервуары, тогда как другие (например колонны) устраиваются только в особых случаях.

Все водонапорные и запасные сооружения характеризуются, главным образом, своими объемами и высотным расположением, пневматические установки (см. главу XIX), кроме того, — давлением воздуха в котлах.

Объем резервуаров определяется технико-экономическими расчетами с составлением ступенчатого или интегрального графика суточного и часового потребления воды (см. расчет сети). Часто к объему, необходимому для регулирования неравномерности между поступлением воды в резервуар и ее расходом в различные часы суток, добавляется объем для хранения запаса на противопожарные и специальные (промывка и пр.) нужды.

Месторасположение водонапорных сооружений, и в первую очередь башен, выбирается в зависимости от рельефа местности, конфигурации разводящей сети, географического местонахождения объекта, планировочных соображений и т. д. Отметка дна бака водонапорной башни (а также и напорных резервуаров) определяется условиями совместной работы отдельных элементов системы водоснабжения, технико-экономическими расчетами разводящей сети и водоводов и т. д. с обеспечением при этом требуемых свободных напоров в расчетных точках (наиболее высоких и удаленных от водонапорных сооружений).

В целях уменьшения высоты башен и снижения эксплоатационных расходов часто оказывается выгодным объекты, требующие высоких напоров, выделять в особые группы и устраивать для них отдельные повысительные установки (дополнительные подкачивающие станции и т. п.).

В промышленных предприятиях с непрерывным равномерным водопотреблением башни могут вообще не устраиваться и подача воды в этом случае осуществляется непосредственно насосными установками, работающими по соответствующим графикам.

Водонапорные башни сооружаются из дерева, бутового камня, кирпича, железобетона и металла.

Применение того или иного строительного материала должно быть обосновано технико-экономическим расчетом.

§ 128. Кирпичные водонапорные башни

При близости расположения кирпичных заводов от места постройки башни и наличии дешевого кирпича может оказаться выгодным

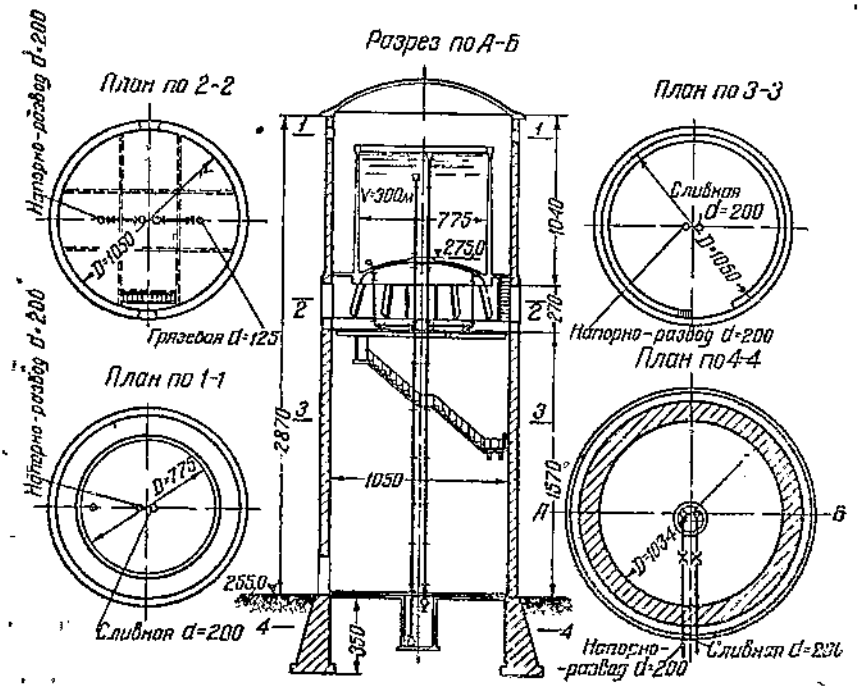


Рис. 535

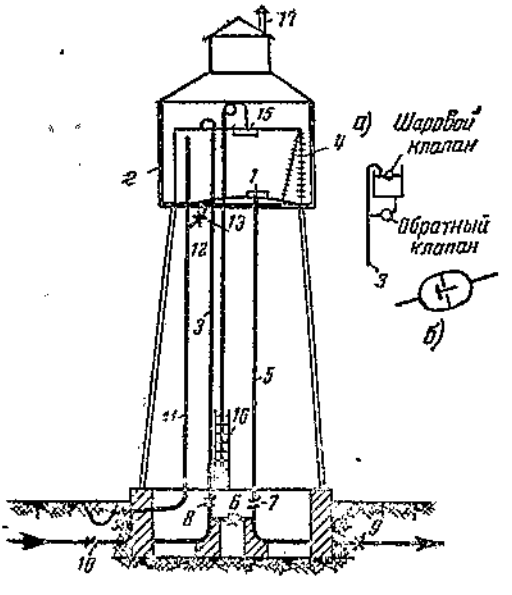


Рис. 536

строить кирпичные башни. Кирпичные башни имеют в плане обычно круглую или многоугольную форму, определяемую архитектурными соображениями. На рис. 535 представлена кирпичная башня с железобетонным баком объемом 300 $м^3$ и железобетонным перекрытием. Башни такого типа рекомендованы к строительству Госводоканалпроектом НККХ РСФСР.

Кирпичные стены башен обычно возводятся только до основания шатра. Последний же выполняется или из пустотелого кирпича, или из досок, обшитых теплоизоляционным материалом (соломит, камышит и т. п.). Баки для воды применяются стальные, железобетонные и деревянные.

Оборудование башни трубопроводами, задвижками и т. п. производится по схеме, приведенной на рис. 536.

К достоинствам кирпичных водонапорных башен следует отнести их долговечность и то, что они для своего осуществления требуют незначительной затраты металла.

Недостатками кирпичных башен является их более высокая стоимость по сравнению с другими башнями, и более длительные сроки строительства.

Можно все же полагать, что кирпичные башни в ближайшие годы получат значительное распространение, так как кирпич является менее дефицитным материалом по сравнению с другими материалами, идущими на постройку башен.

§ 129. Железобетонные башни

Железобетонные башни обычно устраиваются следующих двух типов; в виде сплошного железобетонного цилиндра, на котором устанавливается бак для воды, либо в виде железобетонных стоек, связанных поперечными обвязками (пространственная ферма, служащая для размещения бака с водой).

На рис. 537 приведен общий вид железобетонной башни с железобетонным баком для воды емкостью 50—1 250 $м^3$. Указанный тип башни предложен трестом «Центроспецстройпроект». Бетон, идущий на изготовление бака, принимается марки 130 и для остальных элементов башни марки 110; арматура — сталь 3.

Железобетонный цилиндр башни на всю его высоту до опорного кольца под бак для воды возводится путем непрерывного бетонирования стенок в подвижной опалубке. Бак для воды, так же как и шатер вокруг бака, бетонируется в стационарной опалубке с подвесных лесов.

Устройство шатра имеет своей целью предохранять воду в баке от замерзания, а стенки бака от резких температурных колебаний. Необходимо отметить, что последние могут вызвать появление волосных трещин на стенках и днище бака и замерзание в них воды, а тем самым разрушение стенок и днища бака.

Шатры обычно изготовляются цилиндрической формы, но, когда это требуется архитектурным оформлением, им придают и другую форму.

Башни, возводимые с применением подвижной опалубки, обходятся дешевле возводимых с применением сплошной опалубки и требуют меньше времени на строительство. По данным Центроспецстройпроекта стоимость подвижной

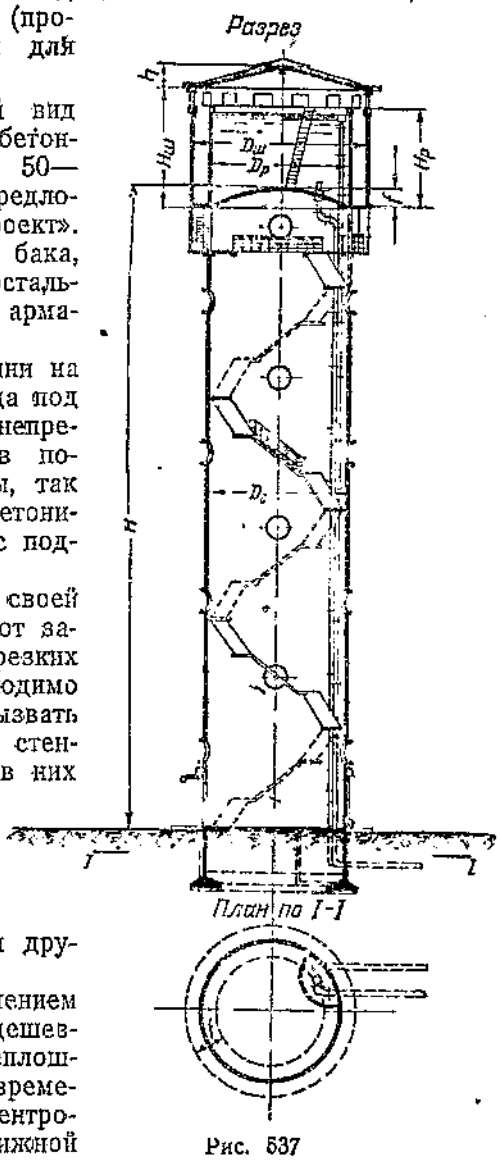


Рис. 537

опалубки составляет около 10% от строительной стоимости башни, в то время как стоимость устройства обычной опалубки, лесов и подмостей (применяемых при возведении башен на стойках) в некоторых случаях составляет до 40% от строительной стоимости башни. Однако цилиндрические башни требуют увеличения расхода бетона на 10—25% по сравнению с башнями, устраиваемыми на железобетонных стойках (колоннах).

В табл. 39 приведены основные размеры цилиндрических железобетонных башен (рис. 537).

Таблица 39

Емкость резервуара в $м^3$	Высота башни в *см*	Основные размеры в *см*						
		$H_ш$	$H_р$	f	$D_ш$	$D_р$	$D_с$	h
50	От 2 000 до 3 500	445	345	75	695	528	512	90
200		666	581	105	934	780	762	105
250		725	615	115	1 004	840	820	110
300		744	635	125	1 077	912	890	117
400		826	720	135	1 147	980	956	123
500		925	820	140	1 186	1 020	990	130
600		1 013,5	910	145	1 228	1 055	1 020	133
750		1 137	1 030	150	1 267	1 096	1 060	140
1 000		1 270	1 165	165	1 359	1 192	1 150	162
1 250		1 355	1 250	180	1 437	1 288	1 240	166

На рис. 538,*а* показана железобетонная башня с двумя, а на рис. 538,*б* с тремя баками, каждый из которых имеет свое специальное назначение. Эксплоатация башен с двумя и тремя баками представляет довольно трудную задачу, в связи с чем строительство их должно быть специально обосновано.

На рис. 539 приведена башня с вертикальными железобетонными стойками; стойки через каждые 3—5 *м* по высоте жестко связываются

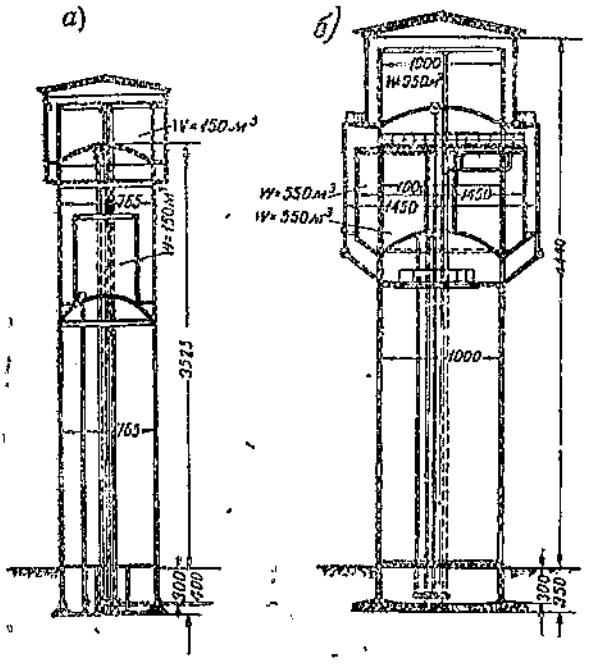


Рис. 538

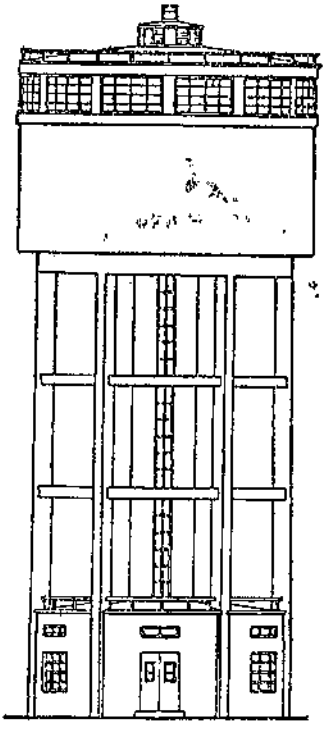


Рис. 539

между собой поперечными ригелями и, таким образом, получается пространственная ферма. Промежутки между стойками могут заполняться пустотелыми камнями или другими строительными материалами. Иногда же заполнения вовсе не делают и каркас башни остается открытым. В этом случае водопроводные трубы помещают в специальном кожухе с заполнением его теплоизоляционным материалом. Шатер устраивается таким же образом, как и в башнях с цилиндрическим основанием.

Фундаменты для железобетонных башен устраиваются или: 1) в виде отдельных башмаков (так называемые опорные подушки); 2) в виде кольцевой железобетонной балки таврового сечения (ленточный фундамент) и 3) в виде сплошного железобетонного основания. Последний тип фундамента устраивается при слабых грунтах и башнях значительной (более 15 *м*) высоты.

§ 130. Стальные башни

Из металлических башен наибольшее распространение в СССР получили башни конструкции акад. В. Г. Шухова (рис. 540). Остов башни представляет собой гиперболическую пространственную ферму, собираемую из прямых металлических стоек уголкового сечения, устанавливаемых по образующим гиперболоида вращения и скрепленных поперечными горизонтальными кольцами (поясками) также из уголковой стали.

Внизу и вверху остов башни заканчивается сварными опорными кольцами. Нижнее кольцо прикрепляется к фундаменту при помощи анкерных болтов и к этому кольцу прикрепляются также стойки остова башни.

К верхнему кольцу прикрепляются верхние концы стоек остова башни; кольцо это является опорным для бака с водой. Водопроводные трубы заключаются в общий кожух, располагаемый внутри остова. В целях отепления кожух заполняется опилками, торфом или другим теплоизоляционным материалом. Для возможности осмотра фланцевых соединений и сальниковых компенсаторов устраиваются смотровые люки (дверцы). Для доступа к баку вокруг кожуха устраивается винтовая лестница, которая заканчивается площадкой у бака. Бак окружается шатром, обычно из двойных деревянных стенок с засыпкой. При наличии постоянного обмена воды в баке (3—4 раза в сутки), а также в районах с теплым климатом (Закавказье, Крым и т. п.) устройство шатра не требуется. В этом случае для осмотра бака можно ограничиться постройкой вокруг него площадки.

Башни Шухова перед другими башнями имеют целый ряд преимуществ, из которых в первую очередь следует отметить:

1) Возможность индустриального и заводского изготовления отдельных деталей башни — полос и уголков.

2) Простоту монтажа башни из отдельных прямых полос, так как поверхность гиперболоида вращения является линейной поверхностью.

3) Устойчивость башен в отношении взрывной волны, поскольку сетчатый остов башни свободно пропускает ее через себя.

4) Большую устойчивость по сравнению с башнями из других материалов в районах, подверженных землетрясениям.

Строительство таких башен из отдельных сварных и сборных деталей без устройства лесов может вестись в течение круглого года.

К недостаткам следует отнести:

1) сравнительно большой расход металла,

2) необходимость периодической окраски в целях предупреждения коррозии металла, в особенности днища бака над опорным кольцом.

В заграничной практике применяются металлические башни, баки которых имеют полуэллипсоидальное днище и сферическую крышку. Баки этого типа опираются на рамную пространственную ферму рис. 541 и при больших объемах (превышающих 1 000 $м^3$) не утепля-

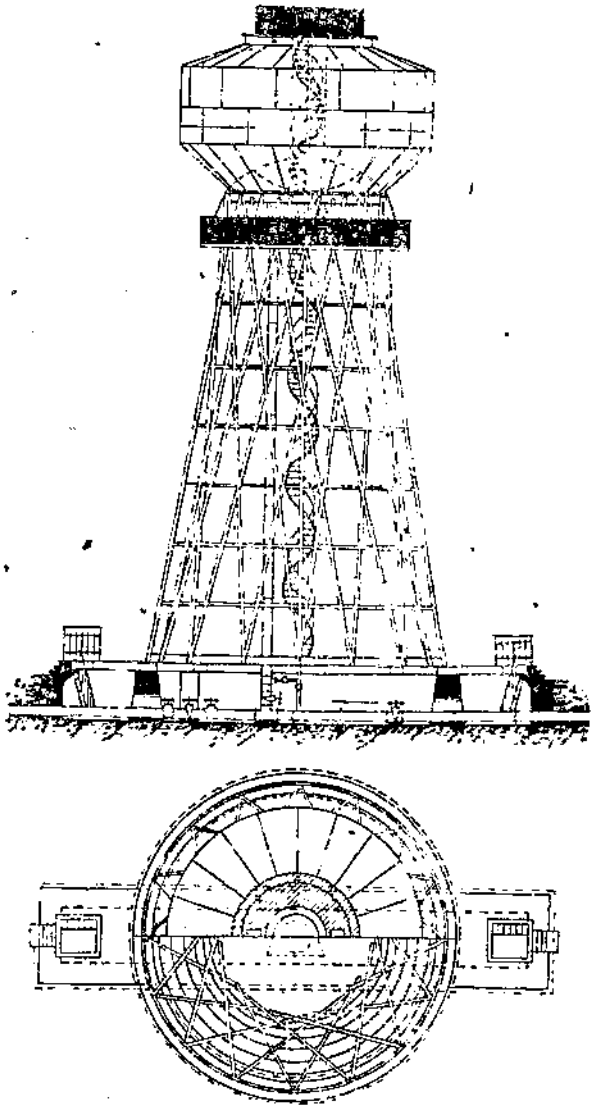


Рис. 540

ются. Разводящая центральная труба имеет диаметр, значительно превышающий расчетный, и поэтому даже в холодное время, при частичном обледенении стенок трубы, в ней остается достаточный проход для воды.

§ 131. Деревянные башни

Деревянные башни применялись ранее обычно во временных водопроводах и в районах, богатых лесом. В настоящее же время эти башни находят широкое применение наряду с башнями из других материалов.

Высота деревянных башен может быть различной — обычно экономически выгодными являются башни небольшой высоты, порядка 10—15 *м*. Деревянные башни с успехом могут применяться в поселках в системах сельскохозяйственных водопроводов и т. д. Деревянные стойки (столбы) башни покрываются масляными антисептическими и огнестойкими красками, фундаменты для башни обычно применяются бутовые.

Рис. 541

К числу положительных особенностей деревянных башен можно отнести следующие:

а) для изготовления их не требуется металла,

б) строительство деревянных башен может проводиться в течение круглого года без дополнительных затрат (на возведение тепляков и т. п.);

в) заготовка отдельных деталей может быть проведена заранее.

К числу недостатков можно отнести недолговечность, опасность в пожарном отношении и трудность изготовления деревянных баков большой емкости.

На рис. 542 представлена деревянная башня конструкции треста «Центроспецстройпроект» высотой до 35 *м*.

Баки для воды в водонапорных башнях применяются стальные, железобетонные и деревянные.

Стальные баки изготовляются цилиндрической формы с плоским и со сферически выпуклым днищами (фиг. 543). Первые устанавливаются на балках, опирающихся на стенки водонапорной башни. Поскольку в баках с плоским дном листы днища работают на изгиб, вся тяжесть должна быть воспринята балками, размеры которых от этого сильно увеличиваются.

Кроме того из-за трудности осмотра и ремонта дна бака эксплоатация баков такой конструкции сильно усложняется. Поэтому в настоящее время баки с плоскими днищами применяются редко. Обычно же металлические баки применяются со сферическим выпуклым днищем, стальные листы которого выгодно работают на растяжение.

Стальные баки весьма удобны для монтажа, однако они требуют затраты металла, а во избежание коррозии—асфальтировки или покрытия специальными лаками стенок и днища.

В последнее время металлические баки вытесняются железобетонными.

Железобетонные баки чаще всего изготовляются со сферическим вогнутым днищем (рис. 544, *а*). В этом случае днище воспринимает сжимающие усилия, что наиболее целесообразно для данной конструкции. Иногда бывает выгодно применение баков системы Интце, имеющих форму, приведенную на рис. 544, *б*.

Можно подобрать такие размеры бака этой конструкции, при которых величины распорных усилий получаются незначительными, а равнодействующая R давления от веса воды будет иметь такое направление, которое может быть воспринято стенами здания водонапорной башни.

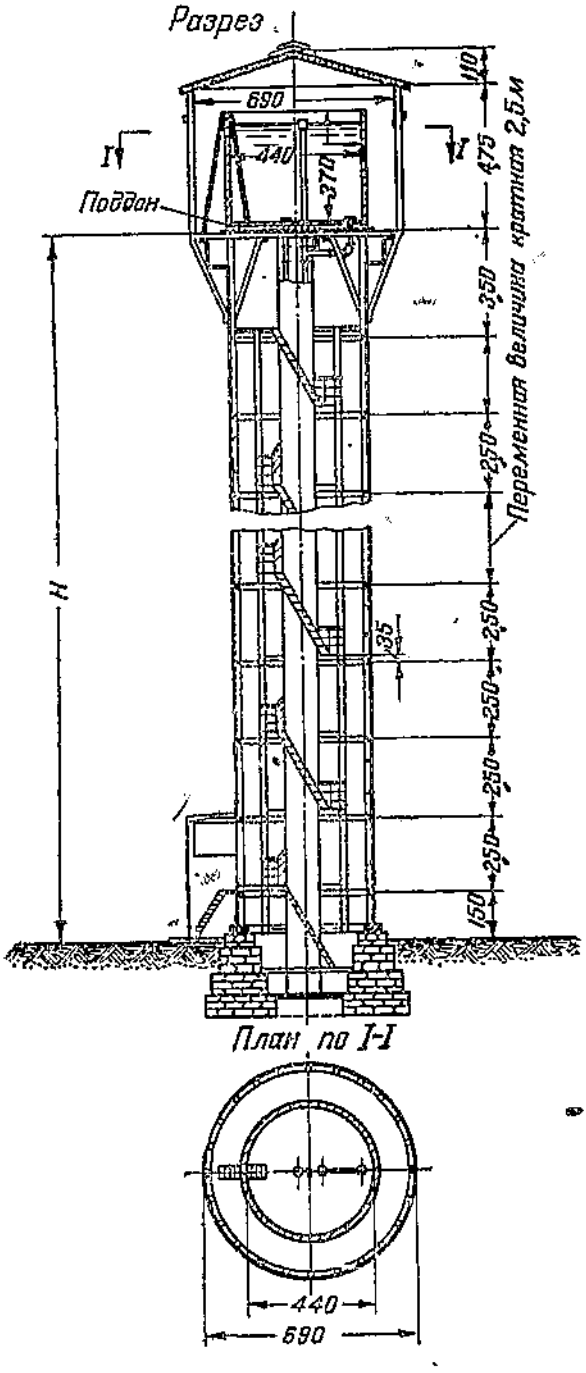


Рис. 542

Внутренние поверхности стенок и днища железобетонных баков тщательно штукатурятся жирным цементным раствором с добавкой церезита и последующим железнением либо торкретируются.

При агрессивной, по отношению к бетону, воде должны быть приняты соответствующие меры для предохранения бака от коррозии.

Наружная поверхность бака тщательно затирается цементным раствором.

Общая схема устройства башни и оборудования ее трубопроводами приведена выше на рис. 536. Подача воды в бак производится по трубе *3* (подающий стояк).

По трубе *5* (разводящий стояк) вода из бака поступает в разводящую сеть. В целях предупреждения попадания в стояк посторонних предметов и осадков, конец трубы *5* снабжается на конце сеткой *1* и должен возвышаться над уровнем дна на 100—150 *мм*.

Суммарная площадь сечения отверстий в сетке должна быть не менее трех площадей поперечного сечения разводящего стояка.

Стояки *3* и *5* сообщаются между собой трубой с задвижкой *6*. При закрытых задвижках *7* и *8* насосы могут непосредственно подавать воду в разводящую сеть, при этом задвижки *6*, *9* и *10* должны быть открытыми.

Закрыв задвижку *9* и оставляя открытыми *6*, *7* и *10*, возможно промыть напорные трубы (водоводы) обратным током воды из бака.

В целях экономии труб целесообразно объединение подающего и разводящего стояков; при этом в случае установки в баке шарового крана, соединение разводящей линии со стояком должно осуществляться с установкой обратного клапана по схеме, приведенной на рис. 536.

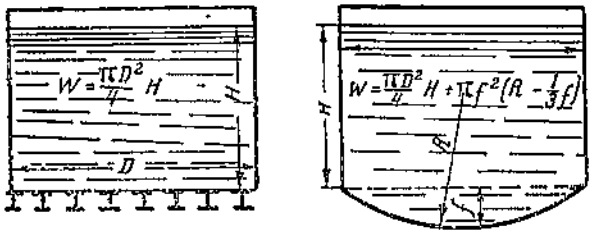


Рис. 543

Под каждым стояком устанавливается специальный чугунный тройник или колено с чугунной плитой на бетонной подушке.

Для восприятия осевых усилий, вызываемых температурными изменениями и осадкой здания, на каждом стояке в верхней части его устанавливают сальниковые компенсаторы, устройство которых видно из рис. 545.

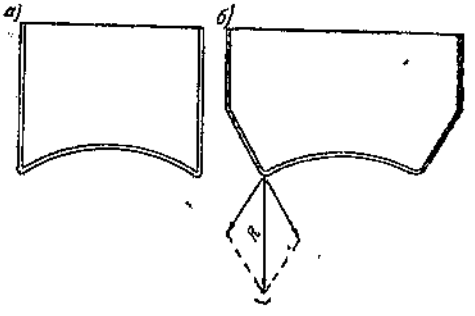


Рис. 544

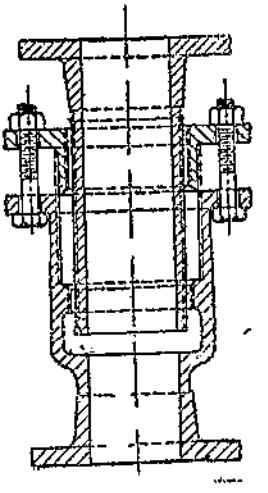


Рис. 545

В башне устанавливается переливная труба *11* (рис. 536), предназначаемая для предупреждения возможного перелива воды через верхнюю кромку бака в случае неисправной сигнализации.

Верхний конец этой трубы устанавливается на расстоянии 200—300 *мм* от верхней кромки водяного бака. Нижний конец этой трубы выводится в водосточную канаву. Установка задвижки на этой трубе не допускается.

Для опорожнения бака и удаления скопившихся на дне осадков имеется короткая сливная труба *12* с задвижкой *13*. Эта труба присоединяется к нижней части бака и к переливной трубе. Для показания уровня воды в баке устраивается поплавковая сигнализация *15*. Простейший вид сигнализации состоит из поплавка, подвешенного к стальному тросу, скользящему по роликам. К другому концу троса подвешен указатель уровня воды, скользящий по рейке *16*.

При устройстве электрической сигнализации указатель, поднимаясь или опускаясь до определенного уровня, автоматически замы-

кает или разъединяет контакты электрической цепи звонковой сигнализации, установленной на насосной станции. Поплавковую сигнализацию одновременно используют для автоматического дистанционного управления приборами, приводящими в действие электромоторы с насосами.

Вокруг бака устраивается шатер *2*, который может быть выполнен из различных материалов. Расстояние между стенками бака для воды и шатра принимается равным 0,6—0,65 *м* (для прохода).

В зимнее время при низких температурах, при длительном отсутствии разбора воды из бака, последняя может замерзнуть, в первую очередь в трубах и задвижках, а также в самом баке. Во избежание замерзания башню приходится отапливать.

Отопление устраивается центральное и печное. Для вентиляции над баком устраивается вытяжная труба *17*.

В башнях, не имеющих закрытых помещений (башни типа Шухова, железобетонные и деревянные каркасного типа без заполнения и т. п.) (рис. 539—542), во избежание замерзания воды в стояках последние размещаются, как это уже отмечалось ранее, в центральном кожухе. Кожух внутри заполняется теплоизоляционным материалом (опилками, торфом, шлаком и т. п.). При этом необходимо следить за прочностью кожуха и за тем, чтобы теплоизоляционный материал находился бы всегда в сухом виде.

На случай подачи воды насосами непосредственно в разводящую сеть, минуя водонапорную башню (при разрушении ее, при промывке бака и т. д.), предусматривают прокладку обводной линии с задвижками для выключения башни.

При подаче воды непосредственно в разводящую сеть поршневыми насосами в период отсутствия водоразбора создается опасность разрыва труб или повреждения самого насоса. Для предупреждения аварии предусматривается установка на сети предохранительных клапанов (на определенное давление) или же обеспечивается постоянный разбор воды из сети, допуская даже в отдельных случаях излишний расход воды. При установке клапанов для выпуска воды необходимо обеспечить отвод сбрасываемой воды.

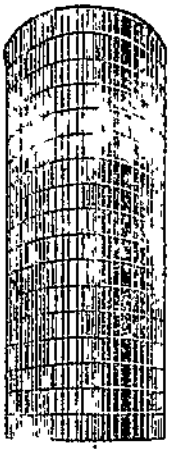


Рис. 546

При укладке водопроводных труб в теле фундамента водонапорной башни следует учитывать возможность неравномерной просадки грунта и фундамента, что, в свою очередь, может вызвать разрушение труб.

Во избежание этого трубы, проходящие через стены фундамента, заключают в кожухи из труб большего (на 75—100 *мм*) диаметра или заменяют их стальными.

§ 132. Водонапорные колонны

В США за последние десятилетия получили широкое применение водонапорные колонны. Колонны (рис. 546) представляют собой цилиндрические стальные резервуары высотой от 15 до 35 *м*, дно которых опирается на фундаментную бетонную подушку. Объем колонн бывает очень большой и достигает до 20 000 *м*³. Высота столба воды в колоннах изменяется в соответствии с колебаниями уровня воды в них, в связи с чем применение их весьма целесообразно в тех случаях, когда напор может быть подвергнут значительным колебаниям.

При наличии естественного возвышения местности высота колонны соответственно уменьшается, и в таких случаях колонны фактически заменяются надземными стальными резервуарами.

К числу недостатков водонапорных колонн следует отнести: 1) значительный расход металла, 2) большую стоимость защиты их от коррозии и 3) невозможность использования всего запаса воды из колонны.

У нас в СССР число таких колонн насчитывают единицами.

Глава XVIII

НАДЗЕМНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ

§ 133. Основные данные

Надземные и подземные резервуары строятся из различных материалов: железобетона, дерева, кирпича, бутового камня и металла; в отдельных случаях устраиваются копаные водоемы в земле.

Общая емкость резервуаров слагается из регулирующей и запасной емкости на специальные нужды (пожаротушение, промывку и т. д.). Регулирующая емкость резервуаров определяется, как это уже отмечалось, путем составления таблиц или графиков поступления воды в резервуар и расхода ее в различные часы суток (см. расчет водопроводной сети).

В большинстве случаев резервуары устраивают полузаглубленные с засыпкой их сверху землей. Величина заглубления назначается, исходя из наименьшего количества земляных работ, причем стремятся к тому, чтобы объем вырытой земли был равен объему земли, требуемой для засыпки.

Такое соотношение приблизительно отвечает расположению наивысшего уровня воды в резервуаре на уровне поверхности земли местности.

Толщина слоя земляной засыпки определяется теплотехническими расчетами.

Вопрос о выборе материала для постройки резервуара решается на основе технико-экономических расчетов, наличием и возможностью использования местных строительных материалов и т. д.

§ 134. Железобетонные резервуары

В водопроводной практике большое применение получили железобетонные резервуары цилиндрической формы с купольным либо с плоским безбалочным перекрытием.

По данным Центроспецстройпроекта резервуары полезной емкостью до 600 $м^3$ рекомендуется устраивать с купольным перекрытием, а резервуары больших емкостей — с плоским безбалочным перекрытием.

На рис. 547 показан разрез цилиндрического резервуара с безбалочным перекрытием, а на рис. 548 — резервуара с купольным перекрытием.

На рис. 549 приведена конструктивная схема различных типов железобетонных резервуаров, широко применяемых при устройстве водопроводов. В целях сокращения описания отдельных видов этих резервуаров основные данные, характеризующие отдельные конструкции и габариты, систематизированы в табл. 40. Дно резервуаров устраивается с уклоном к приямку. Приямок делается таких размеров, чтобы в нем могли разместиться конец приемной трубы с сеткой и спускная труба. Глубина приямка назначается с таким расчетом, чтобы на дне резервуара не образовывалось мертвого объема. Это условие может быть достигнуто, если над верхним отверстием приемной сетки

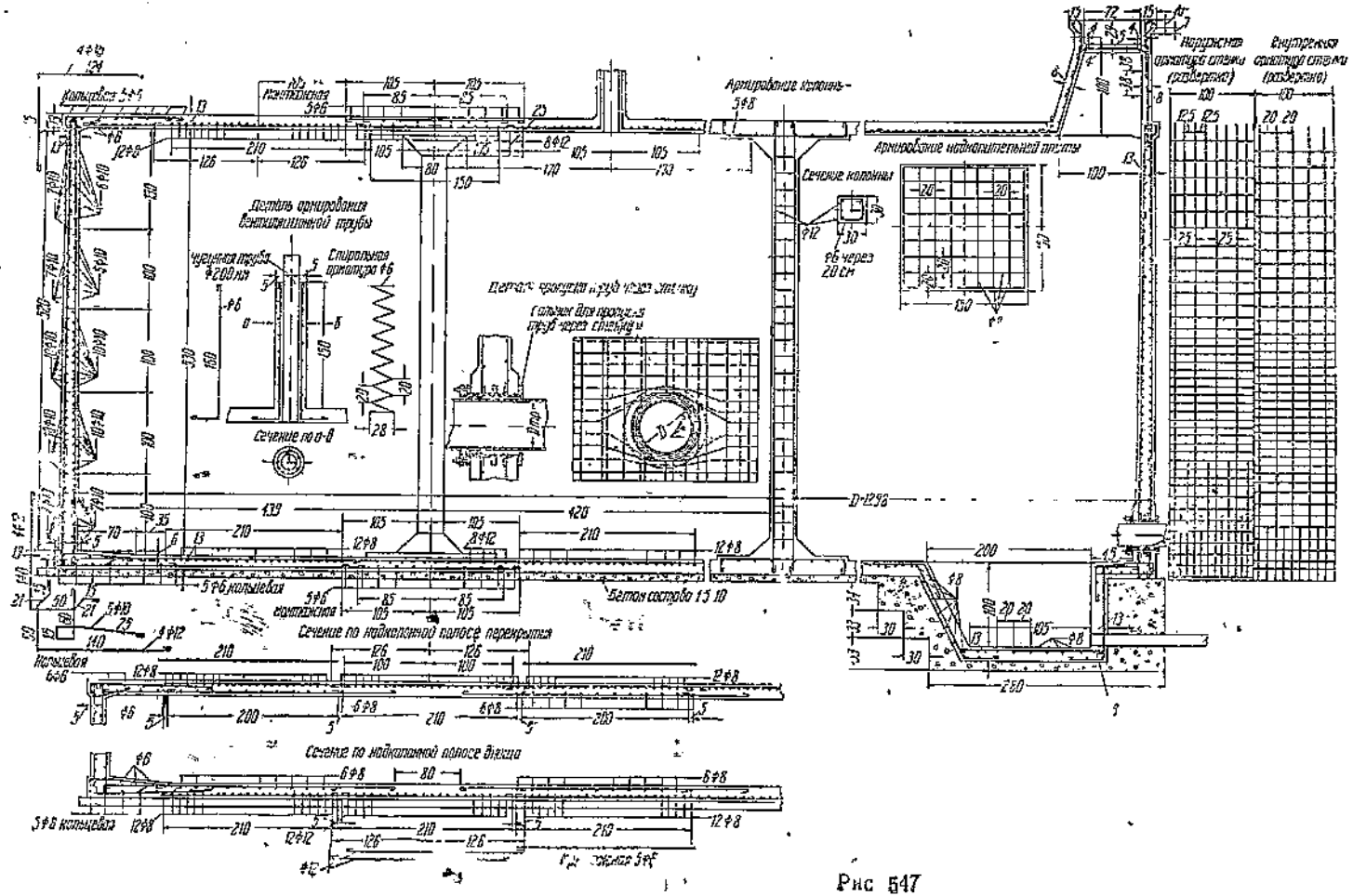

Кольцевая 5Ø6
Монтажная 5Ø6
Армирование колонны 5Ø8
Наружная облицовка стыка (разверстка)
Внутренняя облицовка стыка (развернто)
Сечение колонны
Ø12
Ø6 через 20 см
Армирование надопорной плиты
Подпись армирования вентиляционной трубы
Чугунная труба Ø200 мм
Спиральная арматура Ø6
Сечение по в-в
Бетон класса не ниже 200
Гильзы для пропуска труб через стыки
Ø150
Ø250
5 Ø6 кольцевых
Монтажная 5Ø6
Бетон состава 1:3:10
Сечение по надколонной полосе перекрытия
Кольцевая 5Ø6
Сечение по надколонной полосе днища
5Ø6 кольцевая
Гидрошпонка 5Ø6

Рис 547

Таблица 40

Тип резервуара	Емкость W в $м^3$	D в см	H_0 в см	h в см	R в см	Число колонн в шт.	Размеры панелей в см	$b'_ф$ в см	$b''_ф$ в см	d' в см	δ дн в см	δ'' в см	$\delta_ст$ в см	Толщина внизу δ_1	Толщина вверху δ_2	Обвязка: h_1 в см	Обвязка: b_1 в см	Обвязка: кольцевая арматура в шт.	Объем бетона М-130 на весь резервуар в $м^3$	Объем бетона состава 1:5:10 на весь резервуар в $м^3$	Вес арматуры на весь резервуар в кг	Площадь цементной штукатурки с перелитом в $м^2$	Площадь затирки цементным раствором в $м^2$	Расход на 1 $м^3$ резервуара: бетона М-130 в $м^3$	Расход на 1 $м^3$ резервуара: железа в кг	Расход железа на 1 $м^3$ бетона М-130 в кг
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
С купольным перекрытием (эскиз 1)	300	954	605	440	826	—	—	48	30	12	6	22	8	12	10	35	25	8⌀16	30,22	11,32	3 386,5	202,0	80,0	0,100	11,27	111,8
	400	1 098	665	440	826	—	—	53	35	44	6	24	8	14	10	36	25	8⌀16	39,18	14,47	4 470,0	247,0	110,0	0,098	11,15	114,0
	500	1 222	676	440	966	—	—	59	35	16	6	—	8	16	12	40	30	12⌀16	50,93	17,01	5 753,9	292,0	131,0	0,102	11,5	114,97
	600	1 336	731	440	966	—	—	65	37	18	6	—	8	18	12	44	30	9⌀19	60,90	21,61	6 495,0	320,0	165,0	0,102	10,82	106,53
С плоским перекрытием (эскиз 2)	100	586	450	440	—	—	—	35	5	18	13	18	13	13	13	13	18	—	19,33	7,77	2 463,0	154,5	69,0	0,93	24,63	127,4
С плоским перекрытием и одной колонной (эскиз 3)	200	824	450	440	—	1	—	35	5	17	12	17	12	12	12	12	17	—	29,20	10,62	4 533,0	238,0	107,3	0,146	22,66	155,2
	300	958	490	480	—	1	—	35	5	19	14	19	14	14	14	14	19	—	43,52	13,85	5 064,12	296,0	150,0	0,145	16,88	116,3
С плоским перекрытием на четырех колоннах (эскиз 4)	400	1 100	490	480	—	4	356×356	50	5	17	12	17	12	16	12	12	17	—	50,40	15,91	5 081	367,0	185,0	0,126	12,7	100,8
	500	1 122	490	480	—	4	396×396	70	5	16	12	18	12	16	12	12	17	—	59,81	18,15	6 268	410,0	215,0	0,120	12,53	104,80
	600	1 298	530	520	—	4	420×420	70	5	19	13	17	13	19	13	13	18	—	74,4	19,25	7 746,3	465,6	260,0	0,124	12,92	104,11
С плоским перекрытием на девяти колоннах (эскиз 5)	800	1 538	600	480	—	9	374×374	65	5	21	12	23	12	21	12	18	17	—	97,43	24,58	11 481	598,0	319,0	0,12	14,35	117,84
	1 000	1 656	540	520	—	9	402×402	72	5	24	12	20	12	24	12	15	17	—	115,43	28,42	14 064	671,0	377,0	0,115	14,06	121,71

будет слой воды высотой (25—30 *см*), достаточный для образования над сеткой воронки во время работы.

При постройке железобетонных резервуаров большое внимание уделяется технологии бетонирования. Для обеспечения водонепроник-

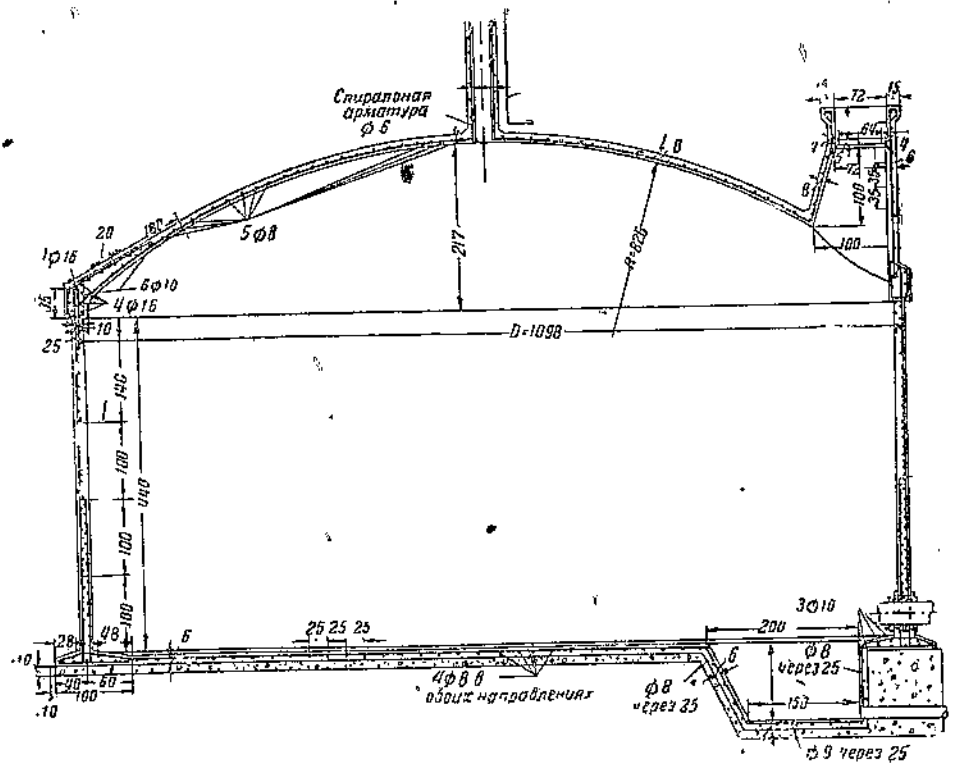


Рис. 548

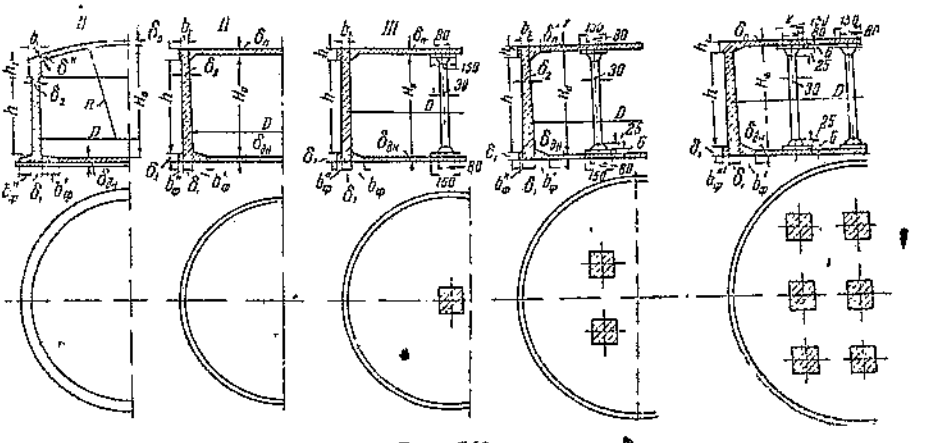


Рис. 549

цаемости стенки и дно резервуара штукатурятся: наружные стены раствором 1:2, а внутренние раствором 1:1 с применением железнения и торкретирования.

Возведение стенок производится с применением двойной опалубки. При бетонировании купольного перекрытия следует считаться с тем, что опалубка должна воспринимать большой вес кладки купола.

§ 135. Стальные резервуары

Резервуары из стали имеют ряд преимуществ перед резервуарами из других материалов. Отдельные детали их могут быть заготовлены в заводских условиях и монтироваться на месте постройки. Сборка на месте не представляет значительных затруднений и поэтому такие резервуары особенно выгодно применять в условиях скоростного строительства. Оборудование стальных резервуаров трубами, задвижками и т. п. производится так же, как и резервуаров из других материалов.

Наряду с достоинствами стальные резервуары имеют и ряд недостатков, как-то: 1) на изготовление их требуется много металла, 2) во избежание ржавления необходимо покрывать их особыми лаками или тщательно асфальтировать. Эти противокоррозийные мероприятия необходимо регулярно повторять и во время эксплоатации.

В целях экономии металла устройство таких резервуаров (в особенности подземных) рекомендовать не следует, за исключением специальных случаев.

§ 136. Резервуары из местных материалов

При наличии местных строительных материалов резервуары строятся из кирпича или из бутового камня.

Стенки таких резервуаров рассчитываются как подпорные и имеют, по сравнению со стенками железобетонных резервуаров, значительно большую толщину, что ведет к значительному увеличению объема работ. При постройке резервуаров из бутового камня требуется исключительная аккуратность выполнения работ, в противном случае резервуары часто дают течь. Во избежание последней стенки резервуаров с внутренней стороны покрывают слоем цемента с применением торкретирования.

Однако основным достоинством резервуаров из кирпича и из бутового камня является широкая возможность использования местных строительных материалов. Это определяет широкое применение таких резервуаров в военный и в восстановительный периоды.

Одним из примеров кирпичных резервуаров большой емкости может служить резервуар емкостью около 60 000 $м^3$, построенный в 1908 г. на Ленинских горах в Москве.

Оборудование резервуаров трубами и арматурой производится так же, как и железобетонных.

§ 137. Деревянные резервуары

Резервуары из дерева раньше находили сравнительно небольшое применение, главным образом, в районах, богатых лесами, а также в совхозном и колхозном строительстве.

В настоящее время они находят применение наряду с резервуарами из других материалов.

Для изготовления деревянных резервуаров применяют клепки из сосны и лиственницы с влажностью 15%. Весь древесный материал креозотируется, а металлические части покрываются асфальтовым лаком.

Деревянные резервуары изготовляются объемом 50—400 $м^3$ с железными и деревянными бандажами. В табл. 41 приводятся конструктивные размеры типовых деревянных резервуаров.

На рис. 550 представлен типовой проект деревянного резервуара, разработанный Центроспецстройпроектом. Резервуары этого типа могут устанавливаться как на водонапорных башнях, так и непосредственно на поверхности земли. Надземные резервуары имеют двухскатное бревенчатое перекрытие.

Таблица 41

Общие данные								Резервуары с железными бандажами		Резервуары с деревянными бандажами		
Объем в $м^3$	Внутренний диаметр в *м*	Толщина стенки в *см*	Толщина днища в *см*	Высота слоя воды в *м*	Наименьшая высота стенок в *м*	Наибольшая высота стенок в *м*	Диаметр лежней под днищем в *см*	количество бандажей	диаметр бандажей в *мм*	количество бандажей	расчетное сечение бандажей в *мм*	количество болтов на одном бандаже
50	4,00	9,5	5,0	4,00	4,86	5,26	14	16	17	11	6×15,7	2
75	4,60	9,5	7,0	4,60	5,46	5,86	16	20	17	14	6×14,3	2
100	5,05	11,5	7,0	5,05	5,92	6,32	16	20	20	18	6×16,2	3
150	5,80	11,5	8,0	5,80	6,72	7,17	16	25	20	22	6×15,4	3
200	6,35	11,5	8,0	6,35	7,27	7,72	16	31	20	21	6×18	3
250	6,85	11,5	10,0	6,85	7,82	8,22	18	28	25	23	7×18,2	3
300	7,25	13,5	10,0	7,25	8,25	8,61	18	27	25	25	7×18	3
350	7,65	13,5	10,0	7,65	8,67	9,07	20	31	25	—	—	—
400	8,00	14,0	10,0	8,00	9,03	9,43	20	34	25	—	—	—

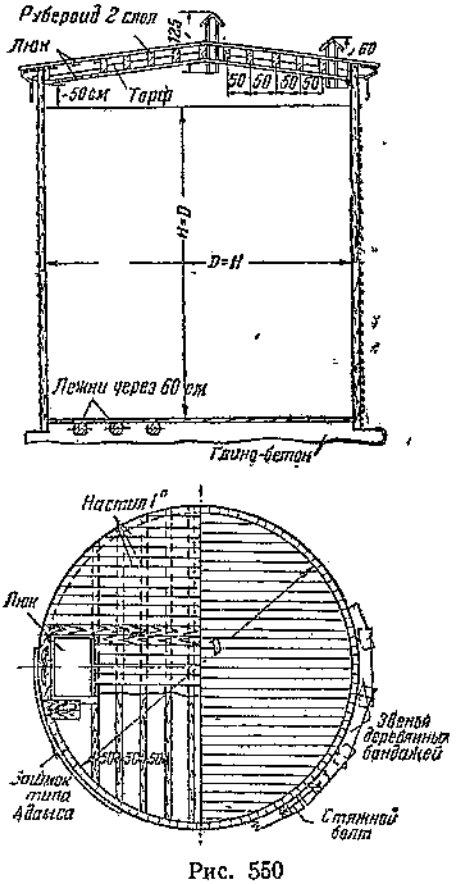


Рис. 550

Основным недостатком деревянных резервуаров является их недолговечность, так как, несмотря на креозотирование, дерево, в связи с постоянным изменением уровня воды в резервуаре, загнивает.

К числу достоинств напорных надземных и подземных резервуаров (располагаемых на естественных возвышенностях) следует отнести то, что они, заменяя башню, значительно дешевле ее.

Особенно это ощутимо в тех случаях, когда требуется постройка башни большой высоты с баками большой емкости.

§ 138. Копаные водоемы

При отсутствии строительных материалов резервуары могут быть устроены в земле путем выемки нужного объема грунта.

Днище и стенки таких резервуаров в целях водонепроницаемости должны иметь защитную одежду. По санитарным соображениям резервуары такого типа предназначаются для хранения противопожарных или производственных запасов воды. По такому же типу устраиваются и брызгальные бассейны облегченных конструкций, получившие широкое применение в условиях военного времени. Такие резервуары обычно называются копаными водоемами.

Заложение откосов боковых стенок водоемов принимается равным 1,5—2,0 в зависимости от рода грунта. В целях сокращения объема земляных работ при устройстве водоема, следует использовать старые пруды, естественные углубления, расположенные вблизи данного объекта. Месторасположение вновь устраиваемых водоемов должно быть увязано с будущей планировкой участка и характером его застройки. Песчаные и макропористые грунты вследствие своих фильтрующих свойств для устройства водоемов без защитной изоляции неприемлемы. Однако в случае, когда поблизости нет участков с лучшими геологическими условиями, устраивают водоемы и в песчаных грунтах, но предусматривают изоляцию дна и боковых стенок водоема экраном из глины толщиною 40 *см* или двухслойным асфальтовым покрытием (2 слоя по 1,5—2,0 *см*) по песчано-щебеночному основанию.

При определении размеров водоема должны быть учтены запасы воды на испарение, промерзание, фильтрацию и т. д. Глубину водоема принимают с таким расчетом, чтобы вода в нем не прогревалась и не вымерзала. В большинстве случаев глубину водоемов принимают в 2,5—3 *м*. Для сохранения полезного объема воды в зимнее время иногда прибегают к утеплению водоемов.

§ 139. Оборудование резервуаров

Для обеспечения условий надлежащей эксплоатации резервуары должны иметь соответствующее оборудование. На рис. 551 показано оборудование резервуара с неприкосновенным пожарным запасом воды. Для подачи воды в резервуар служит нагнетательная (подающая) труба. Труба, по которой вода из резервуара забирается насосами и подается в сеть, называется всасывающей.

На конце подающей трубы устанавливают поплавковый клапан для автоматического прекращения доступа воды в резервуар после его наполнения. На рис. 552 показано устройство поплавкового клапана, устанавливаемого при подаче воды сверху, а на рис. 553 показан поплавковый клапан, устанавливаемый на конце нагнетательной трубы при подаче воды снизу.

Для сохранения неприкосновенного запаса на противопожарные нужды устанавливаются две всасывающие трубы (фиг. 551). Одна из них присоединена к насосам, подающим воду на хозяйственные нужды, а другая к пожарному насосу.

С этой целью конец приемной трубы, забирающей воду для хозяйственных нужд, иногда размещают в специальном цилиндре. Верхняя кромка этого цилиндра находится на уровне, соответствующем пожарному запасу. Вода в цилиндр, а следовательно, и в насос для хозяйственных нужд может поступать только через верхнюю кромку цилиндра.

В этом случае сетку на приемной трубе устанавливают в указанном цилиндре близ дна резервуара, а конец подающей трубы не доводится до верхнего уровня воды в резервуаре (это удобно для установки поплавкового клапана) (рис. 552).

Иногда делают так, что вода в цилиндр поступает снизу, а приемный конец хозяйственной трубы располагают приблизительно на уровне неприкосновенного пожарного запаса.

Для обеспечения лучшей циркуляции воды в резервуаре всасывающую трубу устанавливают в приямке или в цилиндре *А* (рис. 551), а подающую — у противоположной стенки резервуара, поднимая конец ее до верхнего уровня воды.

Переливная труба предназначается для предупреждения переполнения резервуара; диаметр ее чаще всего принимают равным диаметру подающей. На этой трубе никаких задвижек не устанавливают.

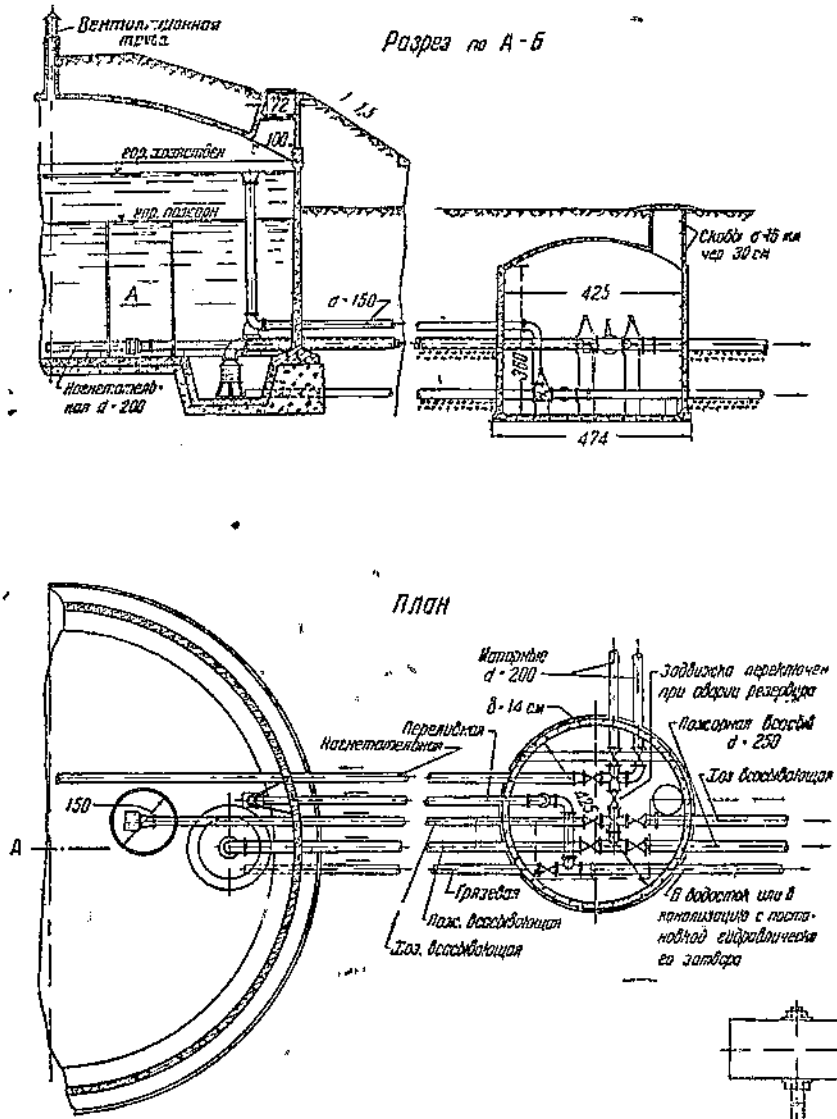


Рис. 551

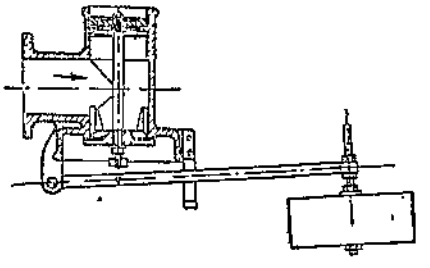


Рис. 552

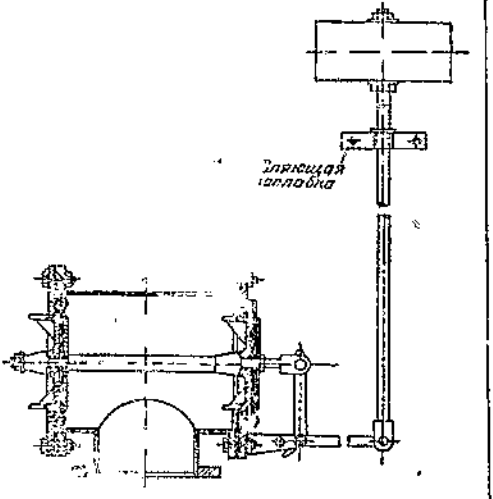


Рис 5 3

Спускная труба предназначается для выпуска осадков со дна резервуара и для его опорожнения. Труба эта берет начало у дна приямка, а в камере задвижек на ней устанавливается задвижка; дальше она объединяется с переливной трубой.

В целях уменьшения заглубления камеры задвижек конец спускной трубы иногда помещают в отдельном приямке и воду отводят в открытую канаву; задвижку же устанавливают в особом колодце.

Вентиляция резервуара осуществляется через трубы, устанавливаемые — одна в центре, а две или более — ближе к стенкам резервуара.

Центральная вентиляционная труба обычно возвышается на 2 *м* над уровнем земляной засыпки резервуара и предназначается для удаления воздуха, а боковые трубы — высотой на 1 *м* над уровнем засыпки предназначаются для поступления свежего воздуха.

Для доступа в резервуары служат специальные люки, закрываемые крышками диаметром 72 *см*, и далее — стремянки или железные скобы, заделываемые в стенки резервуаров.

§ 140. Достоинства и недостатки подземных и надземных резервуаров

К положительным особенностям резервуаров относят возможность использования для их устройства местных строительных материалов — кирпича, бута, дерева и т. д. Кроме того, и по условиям МПВО резервуары менее заметны, менее уязвимы и в меньшей степени подвержены действию взрывной волны.

К числу недостатков надземных и подземных резервуаров следует отнести то, что при устройстве подземных резервуаров в макропористых грунтах в случае утечки воды последнюю будет труднее обнаружить, и, кроме того, грунты эти, насыщенные водой, становятся малоустойчивыми, и сооружения на них могут подвергнуться значительным деформациям. Так же трудно будет определить утечку воды и в песчаных грунтах.

В сейсмических районах устройство подземных и надземных резервуаров, в особенности больших размеров, нецелесообразно.

В этих случаях их выгоднее заменять резервуарами малой емкости или же пневматическими установками со стальными котлами.

Окончательное определение целесообразности устройства надземных или подземных резервуаров по сравнению их с башнями устанавливается на основе технико-экономических расчетов для ряда вариантов.

При постройке резервуаров в макропористых грунтах предпочтение отдается цилиндрическим резервуарам с безбалочным перекрытием. В целях предупреждения попадания поверхностных вод под резервуар, а в связи с этим и возможного повреждения дна резервуара необходимо обеспечить отвод поверхностных вод путем устройства водоотводных труб, канав и т. п.

В районах вечной мерзлоты при возведении резервуаров принимается ряд специальных мероприятий и, в частности; а) под дном резервуара устраивается термоизоляционная подушка из галечной подсыпки, брусчатого ростверка и бетонной плиты, б) вокруг боковых стенок резервуара насыпается слой гальки или гравия, в) перекрытие резервуара засыпается перемежающимися слоями из шлака, битума, глины и местных грунтов и т. д.

Глава XIX

ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ ВОДОНАПОРНЫЕ УСТРОЙСТВА

§ 141. Общие сведения

Пневматические устройства имеют то же назначение, что и водонапорные башни или водонапорные резервуары, расположенные на естественной возвышенности, т. е. они должны обеспечить подачу воды потребителям под требуемым напором. Вместо открытых резервуаров для воды в данном случае осуществляется установка одного или нескольких герметически закрытых котлов. Требуемый напор, который при водонапорных резервуарах создается за счет высоты водяного столба, в пневматических установках получается за счет соответственного давления воздуха в котлах.

Место расположения пневматических установок, так же как и водонапорных резервуаров, определяется на основе технико-экономических расчетов водопроводной сети с учетом рельефа местности и расположения отдельных потребителей воды. При всех прочих одинаковых условиях пневматическую установку, так же как и башню, выгоднее располагать в центре разводящей сети на естественной возвышенности, что позволяет снизить давление воздуха в котлах, а следовательно, уменьшить затрату металла на их изготовление и снизить строительную стоимость установки. Однако при наличии соответствующего естественного возвышения в центре разводящей сети обычно оказывается целесообразным вместо пневматической установки устраивать подземные водонапорные резервуары.

В технико-экономическом отношении башни в подавляющем большинстве случаев оказываются выгоднее пневматических установок и в особенности при необходимости иметь резервуар большой емкости.

При равнинной местности пневматические установки с точки зрения МПВО могут иметь преимущества перед башнями, в особенности, когда требуется строить башни значительной высоты с баком небольшой емкости.

§ 142. Установки с постоянным давлением

Пневматические устройства подразделяются на установки с постоянным и с переменным давлениями. Первые представляют собой два котла одинакового или разных размеров, соединенных между собой трубой—*5* (рис. 554). Котел *1* предназначается для воды, а котел *2* — для воздуха. Котел *1* соединяется с подающей трубой *3*, с разводящей трубой *4* и с воздушной трубой *5*. Воздух в котле *2* находится под давлением, значительно превышающим расчетное, и поступает в котел *1* по трубе *5*, проходя через редукционный клапан *6* под постоянным редуцированным давлением. Вентили *9* и *10* служат для выключения котлов, вентиль *8* — для выпуска воздуха во время зарядки котла *1*

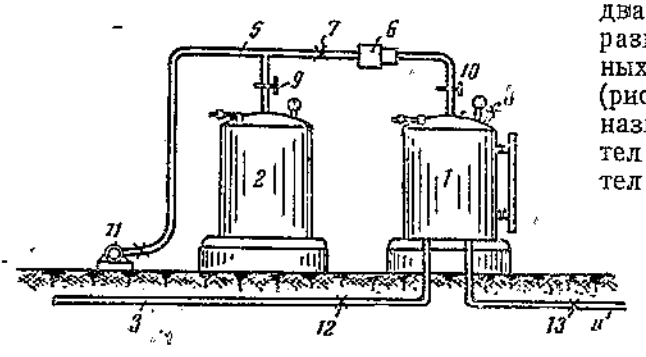


Рис. 554

водой. Задвижки *12* и *13* — для выключения котла. Компрессор с двигателем *11* — для нагнетания воздуха. Котлы оборудуются арматурой (предохранительными клапанами, манометрами, водопроводными кранами, люками и т. д.).

Зарядка установки состоит в следующем: закрывают вентиль *7* и в котел *2* при помощи компрессора или из баллона нагнетается воздух до определенного давления. В котел *1* по трубе *3* насосом подается вода. Вентили *8, 9* и *10* находятся в открытом положении. Задвижка *13* на разводящей сети в это время остается в закрытом положении. После заполнения котла *1* водой закрывают вентиль *8* и задвижку *12* и открывают вентиль *7*. С этого момента установка считается заряженной. Вода будет находиться под давлением редуцируемого воздуха.

В таком положении установка может находиться продолжительное время.

При сигнале о необходимости подачи воды в разводящую сеть открывают задвижку *13*. Вода под давлением воздуха устремляется в разводящую сеть. Истечение воды будет продолжаться до полного опорожнения котла; давление воздуха, проходящего через редукционный клапан, при этом не изменяется.

Установки такого рода и называются установками с постоянным давлением.

В целях предупреждения попадания воздуха из котла в разводящую сеть имеется поплавковый предохранительный клапан, который устанавливается внутри котла над входным отверстием разводящей трубы.

Устройство одного из таких клапанов показано на рис. 555. Клапан состоит из корпуса *1*, полого шара *2*, обтянутого резиной, и болта-ограничителя подъема при всплывании *3*. Действие клапана следующее. При поступлении воды в котел шар вследствие избыточного давления воды открывает отверстие клапана и далее всплывает, насколько позволяет болт-ограничитель.

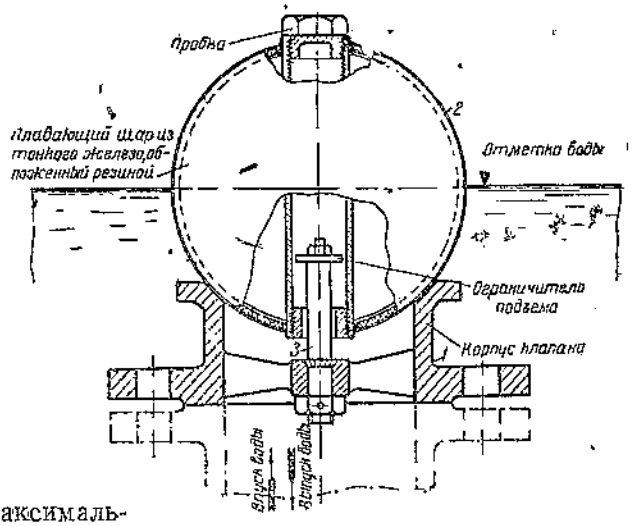


Рис. 555

При опорожнении котла шар под действием своего веса спускается и прикрывает выход воздуха из котла в трубопровод.

Выбор компрессора производится на максимальное давление воздуха в воздушном котле, которое определяется расчетом.

К достоинству таких установок следует отнести то, что благодаря постоянству давления воздуха в котле насос для подачи воды можно подобрать с такой характеристикой, при которой он будет работать с наибольшим к. п. д.

Далее, благодаря постоянному давлению истечение воды происходит равномерно, что бывает необходимо в некоторых производственных цехах, а также в противопожарных установках, где требуется подать струю определенной мощности.

Недостатками установок с постоянным давлением следует считать большой расход энергии на подкачку воздуха, в особенности когда из котла приходится часто расходовать воду. Необходимо изготовление редукционных клапанов на различное давление и т. д. Вследствие перечисленных недостатков на практике чаще применяются установки с переменным давлением.

§ 143. Установки с переменным давлением

На рис. 556 приведена схема пневматической установки с переменным давлением. Котел *2* предназначается для воды и котел *1* — для воздуха. Первый присоединяется к подающей воду трубе *7*. Часто к этой же трубе присоединяется и котел *1*, как указано на схеме рис. 556; тогда каждый из котлов может работать самостоятельно, но с соответствующим уменьшением запаса воды. Труба *7* присоединяется к разводящей сети *12*. Задвижки *8* и *15* служат для разобщения котлов. Открыв задвижки *13* и *4*, воду можно подавать непосредственно в разводящую сеть.

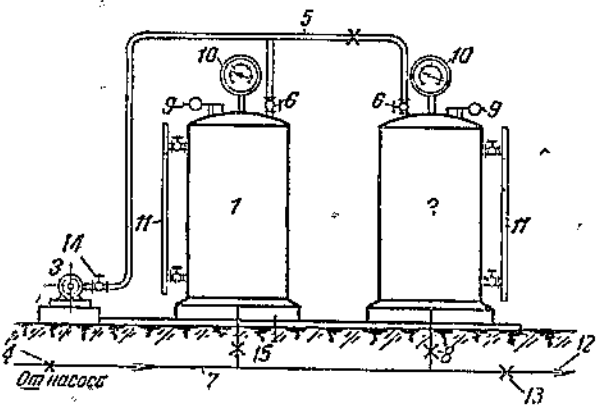


Рис. 556

По трубе *5* оба котла могут заполняться воздухом от компрессора *3* или от компрессорной станции. Вентили *6—6* служат для отключения котлов от воздухопровода *5*.

В котле *2* имеются два клапана, один из которых служит для предупреждения попадания воздуха из котла в разводящую сеть. Описание действия клапана приведено выше (рис. 555).

Для предупреждения попадания воды в котел *1* служит запорный клапан, конструкция которого показана на рис. 557. На трубу *1*, конец которой укрепляется неподвижно к стенке котла *6* и служит как бы продолжением воздушной трубы *2*, насаживается втулка *3*, к нижней части которой прикреплен клапан *4* и поплавок *5*. Благодаря боковому вырезу *7* втулка *3* может передвигаться вверх и вниз, причем шпилька *8* не позволяет втулке упасть. При повышении уровня воды поплавок *5* вместе со втулкой поднимается вверх, прижимает резиновый или кожаный клапан *4* к месту и перекрывает отверстие трубы *1*. Зарядка установки производится следующим образом: закрывают задвижку *13* и вентиль *15* и открывают задвижки *8* и *4* и вентили *6—6*. Далее пускают насос для заполнения котла *2* водой.

Воздух из котла *2* по трубе *5* поступает в котел *1*, повышая там давление. После заполнения котла *2* водой, закрывают задвижку *8* и *4*, затем при помощи компрессора или из запасных резервуаров повышают давление воздуха в котле *1* до расчетного. После этого зарядку установки считают законченной. Вода в котле *2* будет находиться под расчетным давлением.

Для приведения в действие установки нужно открыть задвижку *13*. Вода из котла под давлением воздуха поступает в сеть до момента посадки предохранительного клапана (рис. 555) на место. С разбором воды из котла *2* изменяются общий объем, занимаемый воздухом, и давление последнего.

Давление воздуха изменяется от P максимального, которое наблюдается в начале действия установки, до P минимального, наблюдаемого при вытеснении воды из котла в момент посадки предохранительного клапана, поэтому такие установки называют установками с переменным давлением.

Зарядку установки вновь производить не следует, так как при открытой задвижке *13* можно подавать воду непосредственно в сеть; котел будет выполнять роль большого воздушного колпака, который будет регулировать поступление и расход воды в сеть. Воздух в такого рода установках (при наличии исправных задвижек и арматуры и соединений в трубопроводе) почти не расходуется, поэтому затрата энергии на подкачку воздуха будет значительно меньше, чем

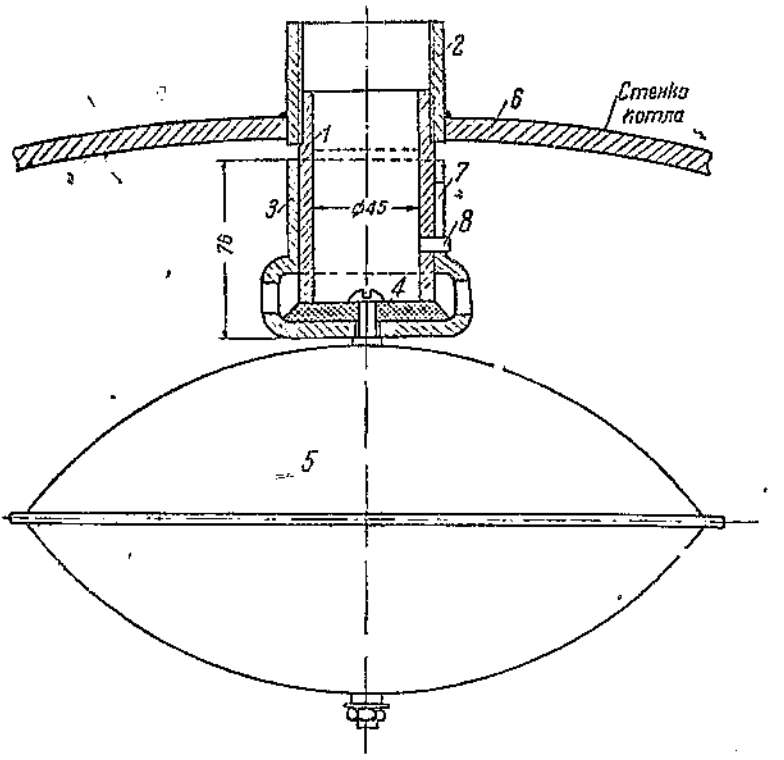


Рис. 557

в установках с постоянным давлением. Однако следует учитывать, что насос в данном случае работает с переменным напором и тем самым с непостоянным к. п. д. (при центробежных насосах).

В практических условиях подкачку воздуха приходится производить 1—2 раза в неделю.

Объем котлов для воды определяется путем построения ступенчатого или интегрального графиков, так же как это делается при определении объема бака водонапорной башни. Объем котлов для воздуха определяется в зависимости от того, с каким перепадом от $P_{макс}$ до $P_{мин}$ будет работать пневматическая установка.

С уменьшением разницы между $P_{макс}$ и $P_{мин}$ увеличивается общая затрата металла на изготовление котлов для воздуха, и наоборот. При расчетах обычно задаются отношением объема котлов для воздуха к суммарному объему котлов для воздуха и для воды, обозначая его условно через α.

§ 144. Расчет пневматических установок

Изменение давления воздуха в пневматических установках с переменным давлением определяется из закона Бойля-Мариотта, выражаемого формулой:

$$P_a V^n = \text{const},$$

где P_a — давление в *ата*;

V — объем воздуха, соответствующий этому давлению.

Значение показателя степени n зависит от того, протекает ли процесс сжатия адиабатически или изотермически. При адиабатическом процессе численная величина показателя $n = 1{,}41$, при изотермическом процессе $n = 1$.

В пневматических установках теплота при сжатии частично выделяется наружу и при расширении поступает извне. Отклонение процесса от изотермического происходит в незначительной степени и позволяет при расчете пневматических установок принимать с достаточным, для практических целей, приближением $n = 1$.

При таком допущении формула закона Бойля-Мариотта принимает вид:

$$P_a V = \text{const}. \qquad (1)$$

Для дальнейшего изложения вводим следующие обозначения:

$P_{a\,макс}$ — максимальное абсолютное давление воздуха в котле;

$P_{a\,мин}$ — минимальное абсолютное давление воздуха в котле;

$V_{возд}$ — объем котла для воздуха;

$V_{вод}$ — объем котла для воды.

Выражая абсолютное давление через манометрическое и обозначая последнее без индекса, имеем:

$$P_{амакс} = P_{макс} + 1;$$

$$P_{амин} = P_{мин} + 1.$$

Максимальное давление воздуха, равное $P_{макс}$, в пневматических установках будет соответствовать моменту окончания зарядки, когда котел *2* (рис. 556) будет заполнен водой и воздух будет занимать минимальный объем, равный объему котла для воздуха $V_{возд}$.

Во время действия установки, по мере вытеснения воды из котла в сеть, объем воздуха будет увеличиваться за счет объема опорожняемой от воды части водяного котла. Давление воздуха при этом соответственно уменьшается. В момент полного опорожнения от воды котла *2* объем воздуха будет максимальным и будет равен суммарному объему воздушного и водяного котлов $V_{возд} + V_{вод}$; давление же воздуха в этот момент будет минимальным, равным $P_{мин}$.

Из формулы (1) имеем:

$$(P_{макс} + 1)\, V_{возд} = (P_{мин} + 1) \cdot (V_{возд} + V_{вод}). \qquad (2)$$

В пневматических установках с переменным давлением бывают известны две величины $P_{мин}$ и $V_{вод}$.

Первая величина определяется из расчета водопроводной сети и равна:

$$0{,}1\,[h_{з.\,с.\,н} + \Sigma hr - (Z_{уст} - Z_0)] \ м \text{ вод. ст.},$$

где $h_{з.\,с.\,н}$ — величина заданного свободного напора в *м* вод. ст.;

Σhr — суммарный напор, требуемый на преодоление всех сопротивлений в разводящей сети до самой удаленной точки в *м* вод. ст.;

$Z_{уст}$ — геометрическая отметка пневматической установки в *м*;

Z_0 — геометрическая отметка самой удаленной точки в *м*.

Величина $V_{вод}$ — представляет собой регулирующую емкость в $м^3$; численная величина ее определяется при расчете сети путем построения графика подачи воды насосами и расхода ее по часам в сутки.

В некоторых случаях к регулирующей емкости прибавляют необходимый запас воды на противопожарные и аварийные нужды. Из формулы (2) следует, что

$$\frac{V_{возд}}{V_{возд}+V_{вод}}=\frac{P_{мин}+1}{P_{макс}+1}=\alpha, \qquad (3)$$

Из этой формулы видим, что числовое значение α принимается больше нуля, но меньше единицы. Чем меньше величина α, тем меньше получается объем воздушного котла, а следовательно, уменьшается расход металла на их изготовление.

При уменьшении числового значения α мы получаем соответственно большую разницу между максимальным и минимальным давлениями в котлах установки. В этом случае насос необходимо подбирать так, чтобы он мог обеспечить напор H, достаточный для преодоления максимального напора плюс суммарные сопротивления в нагнетательном трубопроводе и с учетом высоты подъема. При минимальном давлении в котле, равном $P_{мин}$, насос будет работать с напором H' меньше максимального на 10 $(P_{макс}-P_{мин})$ $м$ вод. ст., что вызовет понижение к. п. д. насоса.

В целях увеличения к. п. д. приходится увеличивать числовую величину α. Увеличение α требует увеличения числа котлов для воздуха или общего их объема. Такое увеличение в свою очередь вызывает увеличение строительной стоимости и перерасход металла. В практике числовую величину α принимают в пределах от 0,5 до 0,8, что обосновывается технико-экономическими расчетами стоимости первоначальных затрат и эксплоатационных расходов.

В табл. 42 приведены суммарные величины $(V_{возд}+V_{вод})$ в $м^3$ в зависимости от принятой величины α. Числовое значение $V_{вод}$ принято равным 100 $м^3$; значение $(V_{возд}+V_{вод})$ подсчитано по формуле:

$$(V_{возд}+V_{вод})=\left(1+\frac{\alpha}{1-\alpha}\right)V_{вод}, \qquad (4)$$

полученной путем преобразования из формулы (3).

Таблица 42

Числовое значение α	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Суммарный объем $(V_{возд}+V_{вод})$ . .	100	111	125	143	166	200	250	333	500	1 000

В табл. 42 значения $(V_{возд}+V_{вод})$ определены при условии полного опорожнения водяного котла. На практике в котле почти всегда остается некоторый объем воды, равный ΔV, обусловливаемый наличием в котле предохранительного клапана (рис. 555).

Учитывая этот объем ΔV, при расчете следует принимать некоторое среднее значение величины α, которое мы обозначим через $\alpha_{средн}$. При этом:

$$\alpha_{средн}=\frac{V_{возд}+V_{вод}-\Delta V}{V_{возд}+V_{вод}}=1-\frac{\Delta V}{V_{возд}+V_{вод}}. \qquad (5)$$

Решая это уравнение относительно ΔV, находим:

$$\Delta V=(V_{возд}+V_{вод})(1-\alpha_{средн}). \qquad (6)$$

Принимая $(V_{возд} + V_{вод}) = 100$ $м^3$ и задаваясь различными величинами $\alpha_{средн}$, получим ряд значений ΔV в $м^3$.

В табл. 43 приведены числовые значения ΔV в $м^3$ в зависимости от $\alpha_{средн}$ при $(V_{возд} + V_{вод}) = 100$ $м^3$.

Таблица 43

$\alpha_{средн}$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ΔV в $м^3$	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

§ 145. Условия образования вакуума в пневматических установках с переменным давлением

В пневматических установках при работе могут быть случаи, когда к моменту опорожнения водяного котла предохранительный клапан (рис. 555) не закроет живого сечения разводящей сети. Если при этом пневматическая установка будет расположена на отметке, превышающей отметку заложения труб разводящей сети, то может произойти опорожнение не только котла для воды, но частично и труб, прилегающих к установке. Поэтому объем воздуха будет больше принятого по расчету объема $(V_{возд} + V_{вод})$ на величину, равную δV. С увеличением объема давление воздуха в котлах уменьшается; в том случае, если $(P_{мин} + 1)$ станет меньше 1 $ат$, в системе образуется вакуум.

По формуле (2) будем иметь:

$$(P_{мин} + 1) = \frac{(P_{макс} + 1)\, V_{возд}}{(V_{возд} + V_{вод}) + \delta V} < 1, \qquad (7)$$

это может быть при условии:

$$(P_{макс} + 1)\, V_{возд} < (V_{возд} + V_{вод} + \delta V). \qquad (8)$$

Вакуум образуется при наличии следующего неравенства:

$$\delta V > (P_{макс} + 1)\, V_{возд} - (V_{возд} + V_{вод}), \qquad (9)$$

что после сокращения дает:

$$\delta V > P_{макс}\, V_{возд} - V_{вод}. \qquad (10)$$

Последнее выражение показывает, что опасность образования вакуума будет тем больше, чем меньше будет максимальное давление в котле и чем больше будет объем опоражниваемой сети.

В табл. 44 приведены объемы 1 *пог. м* труб различного диаметра.

Таблица 44

Диаметр трубы в *мм*	50	75	100	125	150	200	250	300	350	400	500
Объем 1 *пог. м* в $м^3$	0,00196	0,00439	0,00785	0,01281	0,01766	0,03142	0,04991	0,07068	0,09620	0,12566	0,19625

При образовании вакуума днища и стенки котлов работают не на растяжение, а на смятие. Деформация последних при всех прочих равных условиях будет тем значительнее, чем больше будет диаметр котла. Ввиду этого следует уделить особое внимание постановке и устрой-

ству автоматических клапанов, предупреждающих образование вакуума. На рис. 558 приведено устройство такого клапана. При наличии давления в котле клапан находится в закрытом положении, при образовании вакуума клапан опускается вниз и воздух поступает в котел и предупреждает образование вакуума.

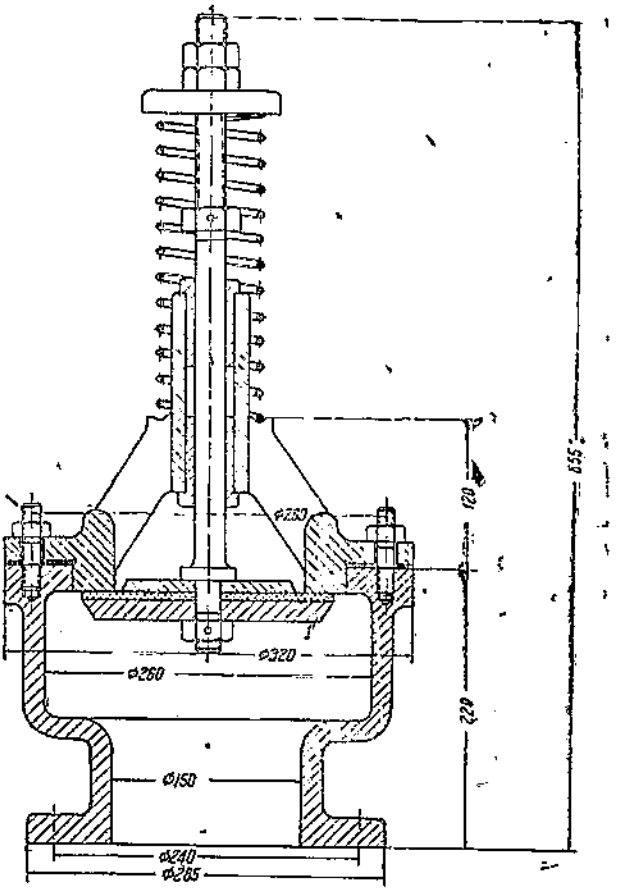


Рис. 558

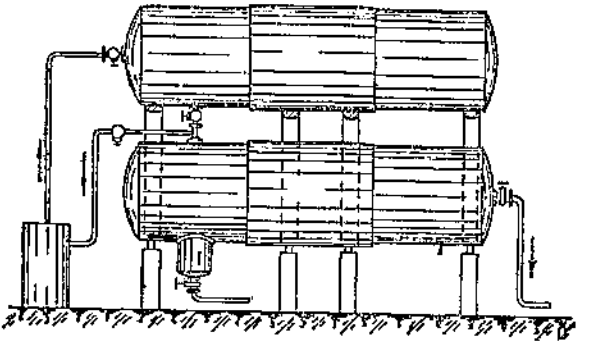


Рис. 559

У нас в Союзе пневматическая установка с переменным давлением с двумя вертикальными котлами впервые была применена в 1904 г. на одной железнодорожной станции по схеме, изображенной на рис. 556, предложенной инж. Гантке. После него инж. Дубревич предложил видоизмененную схему (рис. 559), при которой котел для воздуха установлен выше котла для воды. Такое расположение котлов позволило сократить кубатуру помещения, но усложнило уход за котлами.

§ 146. Особые виды пневматических установок

Подземные пневматические установки. На рис. 560 показаны пневматические установки, расположенные под землей. Величина заглубления принимается из расчета минимального количества производства земляных работ. Условие это соблюдается, если объем вынутого грунта равен объему земли для засыпки. Толщина слоя засыпки определяется теплотехническим расчетом. Если по климатическим условиям слой земли для засыпки потребуется значительной толщины, то для облегчения веса применяют менее теплопроводные и более легкие материалы (сухой торф, инфузорная земля, шлак и др.).

Для предупреждения проникания сырости грунт для засыпки укладывается на слой глины. Сверху насыпанный грунт прикрывается слоем глины и дерном. При наличии грунтовых вод для отвода их устраивается дренаж; отвод поверхностных вод осуществляется открытыми канавами.

Во избежание коррозии котлы покрываются асфальтовым лаком.

Для размещения трубопроводов с задвижками, компрессора с двигателем и для обслуживающего персонала устраивается помещение (камера обслуживания), куда выходят своими лобовыми частями котлы установки с размещенной на них арматурой.

На рис. 560 представлена установка с двумя горизонтальными котлами, а на рис. 561—с четырьмя котлами. Подземные установки имеют целый ряд преимуществ перед установками с котлами, размещенными в зданиях и на поверхности земли. Главные из них следующие:

1) Устройство подземных установок обходится дешевле и для них требуется меньше строительных материалов. Камера для обслуживания может быть выполнена из местных строительных материалов (дерево, кирпич, бутовый камень и т. п.).

2) Установки этого типа имеют ряд преимуществ с точки зрения МПВО; они невидимы с воздуха, защищены от поражения ружейным и пулеметным огнем, а также от осколков авиабомб; кроме того, они меньше подвержены действию взрывной волны.

Передвижные пневматические установки. В военное время, а также в восстановительный период для устройства временных водопроводов могут быть применены передвижные установки, смонтированные на автомобилях, прицепах и железнодорожных платформах.

На рис. 562, *б* представлена схема установки на автомобиле с прицепом. Она представляет собой котел, заранее оборудованный необходимой арматурой и фланцами для присоединения к трубам водопроводной сети. При установке имеется комплекс труб и резиновых шлангов, необходимых для присоединения. Котел вместе с оборудованием размещается на автомобиле с прицепом и доставляется на объект.

Котел для воды покрывается теплоизоляционным материалом.

Бескомпрессорные пневматические установки. На рис. 563 представлена схема, в которой для накачивания воздуха используют насос, подающий воду в ту же установку. Установки этого типа имеют не менее двух котлов, соединенных между собой трубой *3*. Котел *2* присоединяется к подающей и разводящей сети и может быть разъединен с ней при помощи задвижки *4*. Зарядка установки заключается в следующем: при помощи насоса котел *2* наполняется водой при открытом вентиле *5*; воздух по трубе *3* переходит в котел *1*, где соответственно повышается давление. После наполнения котла *2* водой, останавливают насос, закрывают вентиль *5* и открывают вентили *6* и *7*, из вентиля *6* выходит вода, а через вентиль *7* котел *2* заполняется воздухом из окружающей атмосферы. После опорожнения котла *2* вентили *6* и *7* закрываются; открывается вентиль *5* и насос снова пускают в действие. Такие операции повторяют до тех пор, пока давление воздуха

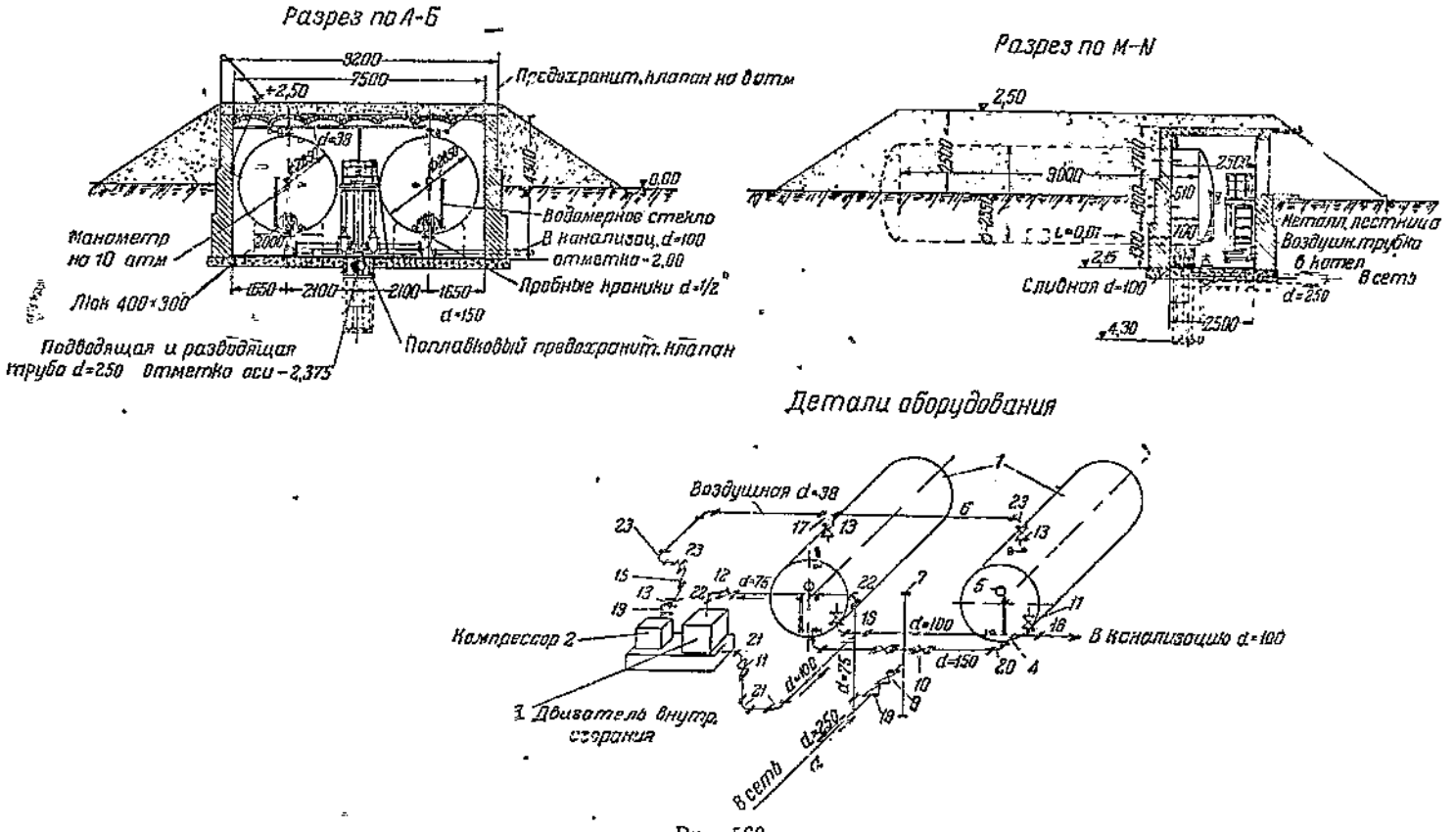

Разрез по А-Б
9200
7500
+2,50
Предохранит. клапан на 6 атм
d=38
0,00
Водомерное стекло
В канализац. d=100
отметка -2,00
Манометр на 10 атм
Люк 400×300
650
2100
2100
1650
d=150
Пробные краники d=1/2"
Подводящая и разводящая труба d=250 отметка оси -2,375
Поплавковый предохранит. клапан
Разрез по М-N
2,50
9000
2500
2500
700
510
700
2,45
0,00
4,30
2500
Металл. лестница
Воздушн. трубка
В котел
В сеть
Сливная d=100
d=250
Детали оборудования
Воздушная d=38
Компрессор 2
1 Двигатель внутр. сгорания
d=75
d=100
d=150
d=250
В канализацию d=100
В сеть

Рис. 560

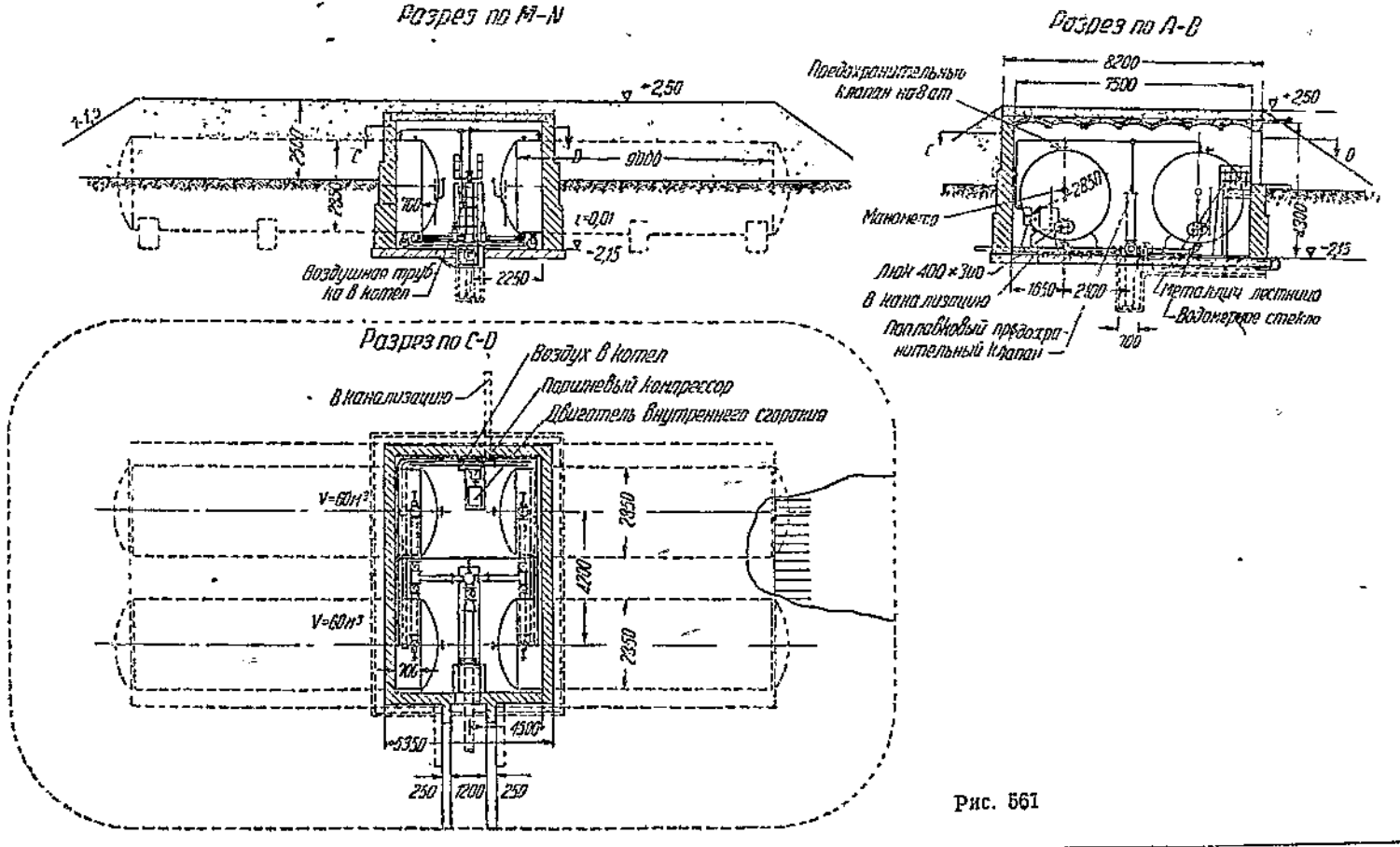

Разрез по M–N
+2,50
1:1,5
2500
2850
700
9000
i=0,01
-2,15
2250
Воздушная труб ка в котел
Разрез по A–B
8200
7500
Предохранительный клапан на 8 ат
+2,50
0
Манометр
2850
300
-2,15
Люк 400×300
В канализацию
1650
2400
700
Металлич лестница
Водомерное стекло
Поплавковый предохра-нительный клапан
Разрез по C–D
Воздух в котел
В канализацию
Поршневый компрессор
Двигатель внутреннего сгорания
V=60м³
V=60м³
2850
4200
2850
700
4500
5350
250
1200
250

Рис. 561

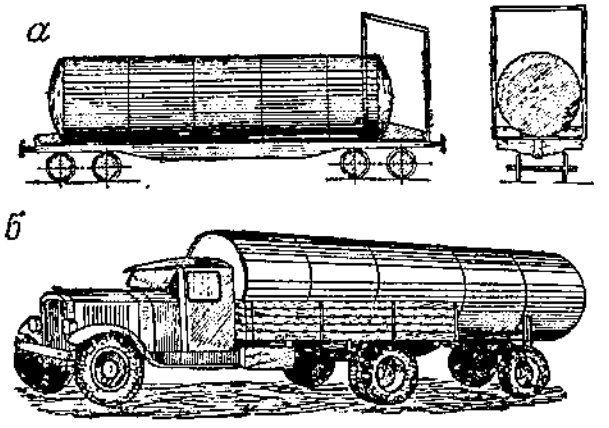


Рис. 562

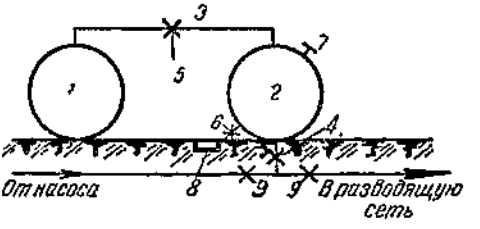


Рис. 563

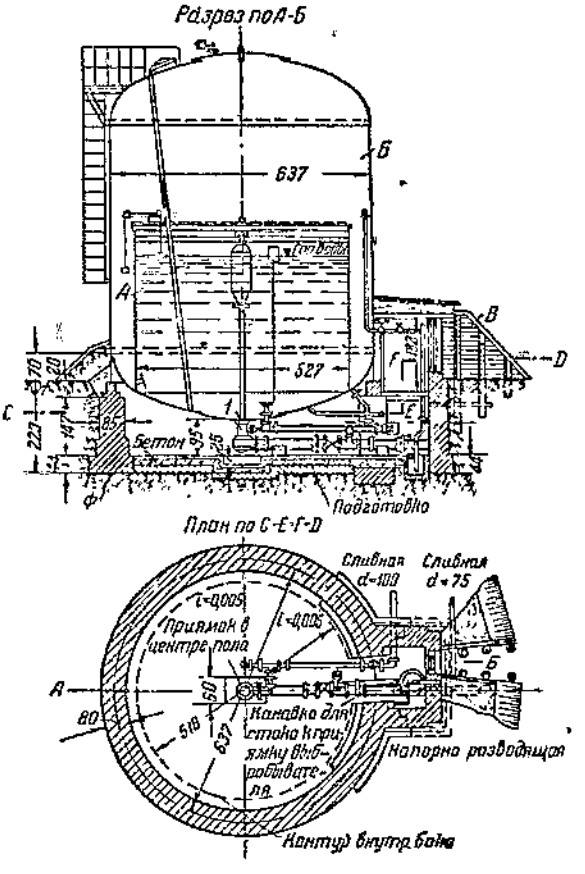


Рис. 564

в котле *1* не повысится до $P_{макс}$. Дальнейшее действие установки аналогично всякой другой с переменным давлением. При эксплоатации для подкачки воздуха время от времени повторяют вышеописанную операцию. Установка этого типа впервые была предложена инж. Малиновским.

Из основных недостатков этих установок следует отметить:

1) Непроизводительную затрату воды при зарядке и при периодической подкачке воздуха, поскольку выпускаемую из котла воду не всегда возможно использовать.

2) Значительное увеличение расходов по затрате энергии для подкачки воздуха в связи с подъемом сбрасываемой воды при подкачке. Расходы эти особенно возрастают при длинных водоводах и при большом статическом напоре.

3) Процесс зарядки воздухом и подкачка его во время эксплоатации требует продолжительного промежутка времени.

При небольшом дебите источника бескомпрессорные установки вообще рекомендовать не следует, так как помимо основных целей вода бесполезно тратится на подкачку воздуха.

Особенно не следует рекомендовать такие установки для воды, улучшение качества которой обходится дорого, так как сбрасываемая при подкачке воздуха, вода будет значительно увеличивать эксплоатационные расходы.

Достоинство установок системы Малиновского заключается в том, что в этом случае не требуется компрессора с двигателем, и это значительно упрощает эксплоатацию установки в целом, в особенности при коротких водоводах и небольшой высоте подачи воды.

В 1930 г. инж. Рожновским предложена пневматическая установка с переменным давлением, названная им гидроаккумулятором.

Установка гидроаккумулятора представлена на рис. 564. Бак с водой помещается внутри котла с воздухом; кольцевое пространство между их стенками принято 0,50 *м*. Давление веса котла и внутреннего бака с водой передается на фундамент посредством лап, приваренных к наружным стенкам котла.

Для размещения компрессора с двигателем устраивается дополнительное помещение в виде пристройки.

Воздушные котлы стандартизированы и приняты трех размеров: 255,3, 241,5 и 184,5 $м^3$ с баками для воды соответственно 120, 80 и 60 $м^3$. Диаметр воздушных котлов принят 6,35 *м*, а диаметр баков для воды 5,35 *м*.

Благодаря большому диаметру воздушных котлов последние изготовляются на максимальное давление 2—3,5 *ат* с соответствующим минимальным давлением 0,7—1,5 *ат*.

Одним из недостатков данной конструкции является то, что бак для воды, установленный внутри котла, сильно усложняет эксплоатацию установки в целом.

Кроме того, на изготовление котлов этой системы требуется повышенный расход металла по сравнению с котлами других конструкций (на 10—20% и больше) [1]; эксплоатация их также сложна и обходится дороже эксплоатации пневматических установок других систем [2].

По своим размерам гидроаккумуляторы громоздки и не могут быть перевозимы по железной дороге и автотранспортом, в связи с чем сварка их обычно производится на месте строительства.

С точки зрения МПВО гидроаккумуляторы нуждаются в специальной защите от действия взрывной волны авиабомб, от осколков снарядов и ружейно-пулеметного огня.

[1] См. Комягин Л. Ф. и Воронцов Н. А., Гидропневматические аккумуляторы, Трансжелдориздат, 1938.

[2] Статья инж. Резниченко в журнале «Водоснабжение и санитарная техника», № 7, 1939.

Следует указать, что эти установки применяются лишь в железнодорожном водоснабжении. В промышленных, городских и поселковых водопроводах они применения почти не нашли.

§ 147. Определение стоимости электроэнергии при эксплоатации пневматических установок

При выборе типа водонапорного сооружения помимо технико-экономического сравнения первоначальных затрат на постройку этих сооружений следует считаться с расходами по затрате энергии на подачу воды при эксплоатации. Иногда условия эксплоатации и, в частности, расходы по затрате энергии могут оказаться решающими при окончательном принятии того или иного варианта устройства водонапорного сооружения.

Необходимо подчеркнуть, что сама схема пневматического водоснабжения предопределяет работу насоса с переменным к. п. д. в зависимости от $P_{макс}$ и $P_{мин}$ и высоты столба воды в котле.

Учитывая, что в целом ряде случаев на практике приходится производить сравнение вариантов устройства водопровода с башней и с пневматической установкой, ниже дается пример определения расходов по затрате энергии на подачу воды центробежными насосами в башню и пневматическую установку. В рассматриваемом случае к. п. д. насосов и моторов к ним приняты постоянными. Изменения к. п. д. в период работы в целях облегчения расчетов в данном примере не учитываются. При сравнении принимаются: объем котлов для воды равным объему бака для воды в башне, минимальное давление в пневматической установке равным высоте башни в *м* вод. ст.

Отметки подошвы башни и основания котлов пневматических установок принимаются одинаковыми.

В рассматриваемом случае пневматическая установка оборудована двумя водяными и двумя воздушными горизонтальными котлами диаметром 3 *м* $P_{макс} = 6{,}00$ *ат*; $P_{мин} = 2{,}5$ *ат*.

Высота башни $H_б = 25$ *м*, высота бака для воды $h_б = 5$ *м*.

Суммарный напор для преодоления местных сопротивлений и сопротивлений в трубах — Σhr плюс статический напор, равный разности отметок подошвы башни (или основания котла пневматической установки) и низкого горизонта воды:

$$[\Sigma hr + (z_б - z_{г.\,н.\,в})] = 10 \text{ м}.$$

Производительность насоса 25 *л/сек*; к. п. д. насоса 0,8; к. п. д. электромотора 0,9; стоимость электроэнергии 10 коп. за 1 *квт-ч*; продолжительность работы насосов 23 часа в сутки.

Для подачи воды в башню потребуется насос с напором, равным:

$$H_{ср} = H_б + \sum hr + (z_б - z_{г.\,н.\,в}) + h_б = \\ = 25 + 10 + 5{,}0 = 40{,}0 \text{ м}.$$

Для подачи воды в пневматическую установку насос должен будет подавать воду на среднюю высоту, равную:

$$H_{ср} = 10\,[(P_{макс} + P_{мин})\,0{,}5] + \sum hr + (z_{уст} - z_{г.\,н.\,в}) + D_{котла}.$$

При диаметре котла $D = 3$ *м* имеем:

$$H_{ср} = 10\,(6{,}0 + 2{,}5) \cdot 0{,}5 + 10 + 3{,}0 = 55{,}5 \text{ м}.$$

Таким образом при подаче в пневматическую установку воду приходится поднимать выше, чем в башню на $55{,}5 - 40{,}0 = 15{,}5$ *м*, или на 38,75%.

Увеличение высоты подъема соответственно потребует увеличения мощности насосов. Так, при подаче в башню

$$N_{нас} = \frac{1 \cdot 25 \cdot 40}{75 \cdot 0{,}8} = 16{,}6 \text{ л. с.},$$

при подъеме же в пневматическую установку

$$N_{нас} = \frac{1 \cdot 25 \cdot 55{,}5}{75 \cdot 0{,}8} = 23{,}12 \text{ л.с.}$$

Насос для пневматической установки требуется большей мощности на 39%, и соответственно имеет место перерасход электроэнергии.

В течение года этот перерасход выразится

$$\frac{(23{,}12 - 16{,}6) \cdot 23 \cdot 0{,}1 \cdot 365}{1{,}36 \cdot 0{,}9} = 4471{,}8 \text{ руб.}$$

Полученные в данном случае результаты близки к средним показателям соотношения расхода энергии при подаче воды в башню и в котлы пневматических установок при $\alpha = 0{,}5$. С изменением числовой величины α указанное соотношение расхода энергии изменяется.

РАЗДЕЛ ШЕСТОЙ

ПРОМЫШЛЕННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Глава XX

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ[1]

§ 148. Производственное водоснабжение тепловых электрических станций[2]

Производственная вода на современных ТЭС расходуется для: 1) охлаждения конденсаторов паровых турбин, маслоохладителей генераторов, воздухоохладителей, подшипников различных механизмов и мелкого оборудования, 2) удаления золы[3] и шлака котельных, 3) питания котлов.

Конденсаторы. Из перечисленных водопотребителей главными являются конденсаторы.

Назначение конденсационной установки паровых турбин состоит в создании и поддержании возможно более низкого вакуума в конденсаторе.

Отработавший в турбине пар поступает в конденсатор, где при помощи охлаждающей воды конденсируется и стекает в нижнюю часть конденсатора; отсюда конденсат забирается конденсационным насосом и подается им для питания паровых котлов электростанции. Конденсаторы применяются обычно поверхностного типа и состоят из ряда групп стальных, медных или латунных трубок малого диаметра, заключенных в стальной корпус. С обеих сторон последнего находятся так называемые трубные доски, в которых и закреплены концы трубок. На наружных поверхностях трубок и конденсируется пар при пропуске по трубкам холодной воды.

Конденсаторы расходуют до 85—95% всей производственной воды[4]. Необходимое количество воды q_0 определяется при этом по количеству конденсируемого пара q_n и кратности охлаждения m из выражения $q_0 = mq_n$. При малой кратности охлаждения и недостаточно низкой температуре охлаждающей воды может иметь место неудовлетворительный вакуум в конденсаторе, большой расход пара турбиной и снижение ее мощности.

Вообще между кратностью охлаждения и температурами воды существует зависимость:

$$\frac{Q}{g}(t_2 - t_1) = m(t_2 - t_1),$$

---

[1] До изучения данной главы целесообразно ознакомление учащихся с основными вопросами, изложенными в гл. XXI.

[2] В настоящем параграфе рассматриваются вопросы водоснабжения конденсационных тепловых электростанций, работающих без отбора пара для производства или отопительных целей.

[3] При намечающемся использовании золы для получения особых изделий вопрос о гидрозолоудалении может получить иное разрешение, чем то, которое в настоящее время практикуется и далее излагается.

[4] На современных ТЭС, кроме того, производится очистка дымовых газов котельной, которые содержат продукты сгорания серы. Количество воды для этой очистки незначительно, а к качеству ее и, в частности, к температуре специальных требований не предъявляется.

где Q — количество охлаждающей воды в *кг/час*, g — количество конденсируемого пара в *кг/час*, t_1 и t_2 — температуры воды, поступающей в конденсатор и выходящей из него (температурный перепад).

На основании опыта эксплоатации электростанций и теоретических предпосылок кратность охлаждения принимают обычно равной[1]: а) при оборотной системе водоснабжения: в летнее время — 70—80, в зимнее — 55—60, б) при прямоточной системе[2], в летнее время — 50—60, в зимнее — 30—40.

Количество охлаждающей воды в каждом отдельном случае назначается с учетом типа устанавливаемого конденсатора и температуры воды в источнике. Расход пара составляет 4,5—6,0 *кг* на каждый *квт-ч* и даже более, в зависимости от типа турбин, их конструкции и мощности.

Вода подается на конденсатор с давлением не более 15—18 *м*.

Проходя через конденсаторы, вода не загрязняется и лишь нагревается примерно на 6—12°, а потому может быть использована повторно в пределах самой ТЭС на другие нужды, например, на гидрозолоудаление, для охлаждения (в зимнее время) воздухоохладителей и т. д. Если же вблизи ТЭС расположены промышленные предприятия, на которых может быть использована отработанная вода низкого теплового потенциала, то часто оказывается целесообразным выходящую из конденсаторов воду направлять к таким потребителям для повторного использования (см. ниже).

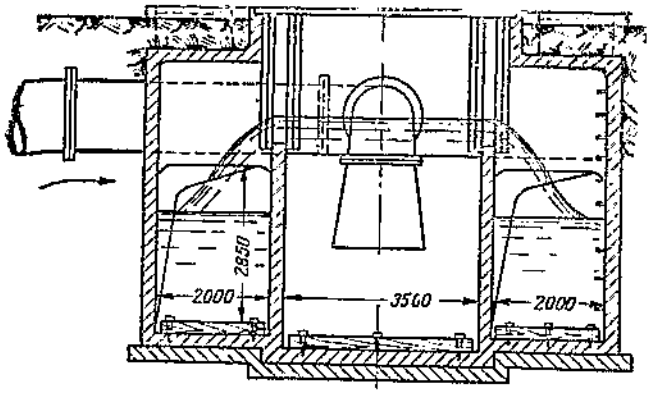


Рис. 565

Подобное решение представляется иногда единственно целесообразным, если вблизи ТЭС расположены потребители, требующие для своих технологических процессов теплую воду.

Если вода из конденсатора сбрасывается в самотечные безнапорные отводящие каналы, то, как правило, имеет место устройство так называемого сифонного колодца (рис. 565). Под уровень воды в последнем погружена нижняя кромка сбросной трубы, чем создается гидравлический затвор в системе водоснабжения конденсатора и используется действие сифона.

Благодаря этому расчетный напор для насосов, подающих воду в конденсатор, может быть уменьшен на 5—6 *м* и даже более. Так как количество воды, подаваемой на конденсатор, велико, то использование сифона имеет большое значение с точки зрения экономии энергии при подъеме воды насосами.

Воздухоохладители[3]. Для охлаждения обмоток генераторов ТЭС применяется обычно воздух[4].

[1] Лишь в отдельных случаях для некоторых типов конденсаторов кратность охлаждения принимается до 100.

[2] Ввиду более низких температур подаваемой воды.

[3] Воздухоохладителем называют поверхностный охладитель с горизонтально (или вертикально) расположенными в нем трубками, по которым пропускается вода; между трубками при помощи вентиляторов, насаженных на вал генератора, прогоняется воздух. Воздухоохладители устанавливаются под генератором либо по обеим сторонам последнего на полу машинного зала.

[4] Лишь в последнее время стало известно другое средство — водород.

Расход воды в воздухоохладителях невелик и составляет в зависимости от размеров воздухоохладителей и температуры подаваемой воды 2—4% от полного расхода воды ТЭС. Воздухоохладители весьма требовательны в отношении температуры воды; наибольшая допускаемая температура воды принимается до 25° и лишь для воздухоохладителей улучшенных конструкций не более 28°. Поэтому в системе оборотного водоснабжения ТЭС желательно в жаркие периоды года подавать в воздухоохладители свежую воду либо воду из хозяйственно-питьевого водопровода, особенно если он пользуется подземным источником.

Использование воды ниже 10—12° нежелательно, так как это вызывает потение поверхности трубок воздухоохладителей.

Использование воды с жесткостью выше 15° нежелательно, так как она вызывает необходимость частых очисток трубок от солевых отложений.

Проходя через воздухоохладители, вода не загрязняется и лишь немного (на 3—4°) нагревается, в связи с чем может быть использована другими потребителями.

Маслоохладители служат для охлаждения масла[1], отработавшего в подшипниках генераторов. Вода здесь требуется с достаточно низкой температурой[2] в количестве 1—2% от полного расхода воды ТЭС. Ввиду того что вода в маслоохладителях не загрязняется, а лишь нагревается на 2—3°, она может быть повторно использована другими потребителями станции.

Подшипники механизмов и мелкое оборудование. Количество воды, которое требуется для их охлаждения, определяется в каждом отдельном случае в зависимости от устанавливаемого оборудования. Для ориентировочных подсчетов иногда принимают это количество равным 2% от полного расхода воды электростанцией.

Ввиду высоких температур поверхностей охлаждаемого оборудования к использованию оборотной водой прибегают только при отсутствии опасения отложений на них солей жесткости. Поэтому воду обычно подают свежую из системы производственного или хозяйственно-питьевого водопровода, особенно когда источником последнего служат подземные воды надлежащего качества. Это важно и потому, что для охлаждения подшипников требуется вода, свободная от вредных механических примесей, особенно песка. Для бесперебойности подачи воды (что имеет весьма большое значение) обычно устанавливаются специальные баки с получасовым запасом воды.

Используемая вода может загрязняться маслами, а потому при отсутствии жироуловителей она обычно либо сбрасывается в канализацию, либо идет для целей золоудаления.

Золоудаление. Количество воды, которое требуется для гидротранспорта золы и шлака котельной с территории крупной ТЭС, зависит от принятой системы транспортирования.

При гидравлической системе низкого давления на 1 *т* удаляемой золы и шлака, в зависимости от оборудования, вида топлива — его зольности, полноты сгорания и пр., требуется от 10 до 25 $м^3$ воды (иногда и более). Для уменьшения расхода воды в системе применяется замкнутый цикл оборота с добавкой в золоотстойники свежей воды около 10% от количества оборотной.

---

[1] Маслоохладители представляют собой холодильники поверхностного типа, устанавливаемые на уровне пола помещения конденсаторов. Конструкция маслоохладителя состоит из цилиндрического корпуса, в котором укреплены латунные трубки; внутри них пропускается охлаждающая вода, масло же проходит в междутрубное пространство.

[2] На практике вода в маслоохладители подается или свежая или оборотная.

При этой системе по зольному каналу в золоотстойники направляются обильно смоченные водой зола и шлак; после выпадения их из воды они погружаются при помощи грейферных кранов в вагонетки для вывоза на золоотвалы.

При другом способе шлак и зола по зольному каналу направляются к так называемой баггерной станции, насосы которой нагнетают смесь воды с золой и шлаком по напорным трубам и лоткам на золоотвалы; здесь также могут устраиваться золоотстойники, однако, на практике они не применяются.

При гидравлической системе высокого давления[1] расход воды составляет примерно 2—7 $м^3$ на 1 $т$ удаляемой золы.

Наконец, при пневматической системе[2] расход воды составляет 5—10 $м^3$ на 1 $т$ золы.

К качеству воды, подаваемой в систему золоудаления, особых требований не предъявляется, и, в частности, могут быть использованы: а) отработанная вода из конденсаторов ТЭС, б) условно чистые воды от цехов завода, расположенного рядом с ТЭС, и др.

В итоге расход воды в основном (для охлаждения конденсаторов, воздухо- и маслоохладителей и подшипников), отнесенный к 1 *квт* мощности станции, может приниматься: а) при прямоточной системе водоснабжения — летом 400—300 *л/час*, зимой 250—200 *л/час*; б) при оборотной системе (расход свежей воды) — летом 25—12 *л/час*; зимой 20—10 *л/час*.

На рис. 566 представлено прямоточное водоснабжение ТЭС с забором воды из ковша; для лучшего обеспечения бесперебойности подачи воды на станцию предусмотрен сброс теплой воды в ковш в периоды, опасные в отношении образования шуги.

На рис. 567 показано оборотное водоснабжение с применением для охлаждения воды градирен, а на рис. 568 — оборотное водоснабжение с охлаждающим прудом.

Прямоточная система водоснабжения признается целесообразнее оборотной ввиду того, что обеспечивает более низкие температуры подаваемой воды, чем оборотная, при которой температуры воды летом могут достигать 30—33°. От прямотока приходится отказываться лишь при недостаточных дебитах водоисточников или по экономическим соображениям; при проектировании водоснабжений ТЭС до Великой Отечественной войны принимали ориентировочно, что оборот воды выгоден при удалении станции от водоисточника на расстояние примерно 2 *км* и более и при возвышении площадки станции над уровнем воды в источнике — на 12 *м* и более. При устройстве оборотного водоснабжения с охлаждающими прудами приходится учитывать: 1) перегрев[3] воды в прудах в летнее время, а также и температуру воды, обычно несколько бо́льшую, нежели при брызгальных бассейнах или градирнях; 2) более низкие температуры воды зимой — примерно 2—7°, между тем как брызгальные бассейны в этот период обеспечивают температуры около 14—17°, а градирни иногда лишь 19—22°; 3) дополнительное (к естественному) испарение воды с площади пруда; последнее нередко принимается в процентах от расхода пара электростанций, а именно: 80% для летних условий работы и 50% для зимних.

Наконец, при прудовой системе охлаждения следует считаться с большой амплитудой колебаний температуры подаваемой воды; эта амплитуда больше, чем при градирнях или брызгальных бассейнах, и может даже превышать амплитуду колебаний температур при прямоточ-

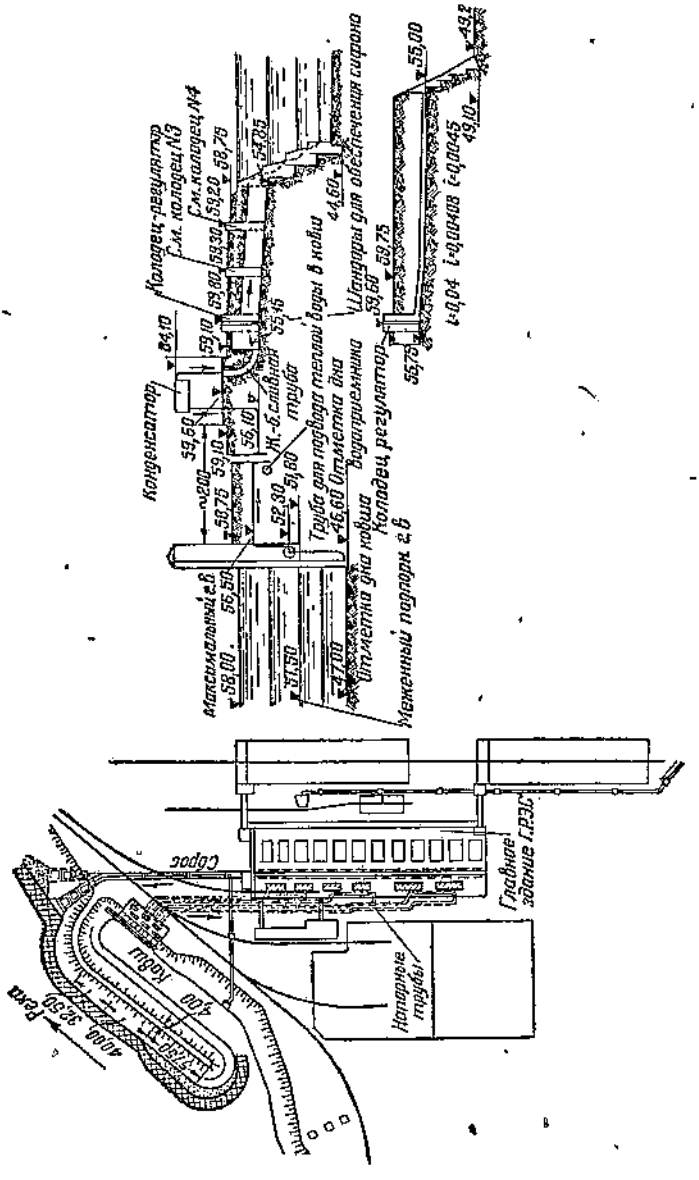
---

[1] Эта система от гидравлической низкого давления отличается тем, что предварительно измельченные шлаки и зола при помощи особых аппаратов с соплами транспортируются водой по напорным трубам на золоотвалы.

[2] При таком способе зола и шлак в смеси с воздухом направляются в сборные резервуары, здесь осаждаются и при помощи воды отсюда удаляются транспортером.

[3] Против среднелетних температур примерно на 1—2° и даже несколько больше.

ной системе. В тех случаях, когда прямоточная система оказывается по технико-экономическим условиям целесообразнее оборотной, но водоисточник не может обеспечивать необходимое для прямотока количество воды в течение всего года, применяется смешанная система: в периоды достаточных дебитов источника снабжение водой ТЭС идет по прямоточной системе, а в остальные периоды — по оборотной.



§ 149. Водоснабжение металлургических заводов [1]

Производственное водоснабжение металлургического завода представляет собой сложный комплекс водоснабжений ряда основных цехов: доменного, газоочистки доменных газов, воздуходувки, сталеплавильного, прокатного, а также вспомогательных.

[1] В настоящем параграфе рассматривается водоснабжение заводов черной металлургии с полным циклом производства — от выплавки чугуна до получения проката.

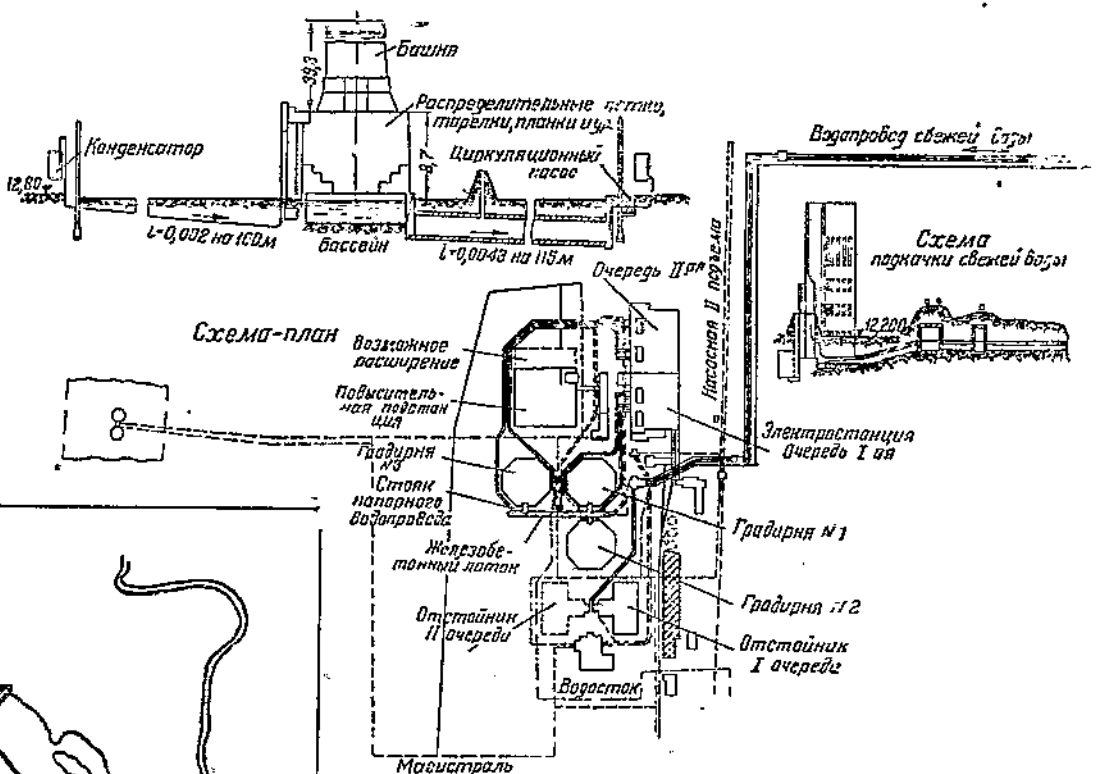


Рис. 567

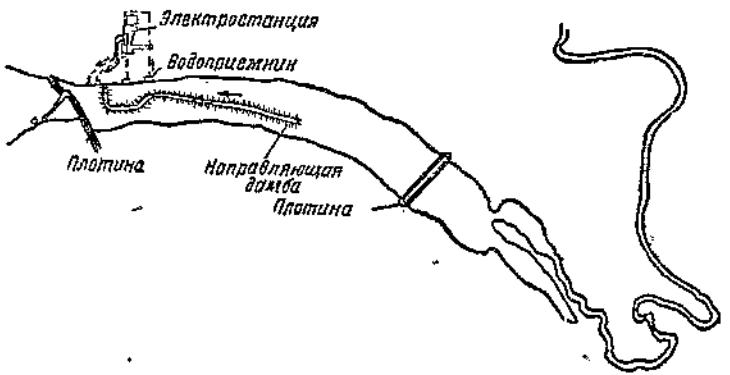


Рис. 568

При этом отдельные основные цехи могут иметь самостоятельные оборотные системы, получающие свежую воду или из общего заводского источника водоснабжения или из систем водопроводов других цехов. Ввиду этого, прежде чем перейти к изучению вопросов водоснабжения завода в целом, необходимо предварительно рассмотреть условия водоснабжения перечисленных цехов.

А. Доменный цех и его водоснабжение

Основными водопотребителями здесь являются доменные печи и кауперы, служащие для подогрева воздуха, который идет на дутье печей[1].

Кроме того, вода расходуется на грануляцию и транспортирование шлака печей. Наконец, небольшие количества воды необходимы для увлажнения шихты, загружаемой в печи, для охлаждения получаемого из печей чугуна, а также для других мелких производственных целей.

Доменные печи и кауперы. В доменной печи вода расходуется на охлаждение различных ее частей при помощи различного рода холодильных устройств — холодильников. Для кауперов вода требуется также на охлаждение.

Следующие части доменной печи важны с точки зрения их водяного охлаждения.

Шахта, имеющая вид расширяющегося книзу конуса и находящаяся ниже колосника, в который загружаются руда, флюсы и топливо. Последние опускаются вниз по шахте к «распару»—самой широкой части печи, где и начинают образовываться капли чугуна и шлака. Охлаждение шахты производится при помощи холодильников разных типов.

Кладка шахты может раскаляться настолько сильно, что приходится прибегать к наружной поливке ее водой из кольцевого водопровода, который предусматривается на верху шахты.

Заплечики печи — коническая, сужающаяся книзу часть, находящаяся под распаром; здесь процесс образования и чугуна и шлака интенсивно развивается. Охлаждение заплечиков (тонкостенных) производится при помощи системы бронзовых коробчатых холодильников, вставленных в амбразуры кладки.

Воздушные фурмы и фурменная зона; последняя расположена в верхней части горна, который находится под заплечиками. В этой зоне и помещены фурмы, через которые подается в печь горячий воздух, требующийся для горения, и которые представляют собой бронзовые, медные или стальные полые кольцевые коробки, внутри которых циркулирует охлаждающая вода. Фурмы вставлены в фурменные холодильники, т. е. в бронзовые полые коробки, внутри которых опять-таки циркулирует охлаждающая вода. Наконец, фурменные холодильники помещены в чугунных амбразурах, прикрепленных к горну; в амбразурах — змеевики, в которых циркулирует охлаждающая вода.

Условия работы фурм очень тяжелы; температура здесь достигает 1800°; поэтому опасность прогара фурм велика; между тем смена каждой сгоревшей фурмы требует около 5—10 мин. времени и прекращения подачи горячего воздуха. Из сказанного ясна необходимость бесперебойной подачи воды для охлаждения.

Кладка печи фурменной зоны в промежутках между фурмами и под ними находится также в тяжелых условиях и должна интенсивно охлаждаться водой, это делается при помощи или пустотелых бронзовых холодильных коробок, вставленных в кладку, или холодильных плит, чугунных с помещенными в них трубками.

Металлоприемник — нижняя часть горна, где собираются стекающие сюда капли чугуна и шлака; это — особо ответственная часть печи, и обеспечение непрерывного охлаждения имеет здесь громадное значение. Охлаждение металлоприемника производится при помощи холодильников в виде чугунных плит с помещенными в них трубками; в последних циркулирует охлаждающая вода.

[1] Каупер представляет собой печь цилиндрической формы диаметром 6—7,5 *м*, высотой до 35 *м*; кладка каупера заключена в металлический кожух, закрытый сверху куполом. Для каждой доменной печи устраивается несколько кауперов, например для современной большой печи объемом 1 300 *м*³ — три каупера. Нагревание воздуха в каупере производится очищенным газом от доменных печей. Газ поступает в камеру горения каупера. Сюда же подводится и атмосферный воздух. Продукты горения поднимаются вверх по камере горения, а затем опускаются вниз по каналам, которые выложены в виде решетки. Далее продукты горения отводятся через дымовые клапаны в боров дымовой трубы. Сначала дается доступ газа в каупер, затем он прекращается и сюда подается холодный воздух из воздухопроводов, проложенных от воздуходувных машин. Проходя тот же путь, что и газы (но в обратном направлении), он нагревается (до температуры 600—800°).

Чугунная летка — отверстие в нижней части горна, через которое выпускается выплавленный чугун; охлаждение здесь производится также при помощи холодильных плит.

Шлаковые летки — отверстия в нижней части горна над чугунной леткой; через них выпускается жидкий шлак. Бесперебойность подачи охлаждающей воды в данном случае должна обеспечиваться так же строго, как и для воздушных фурм.

Расход воды для печи зависит от ее конструкции, размеров, коэфициента использования K_n и перепада температур. Коэфициент использования представляет собой отношение полезного объема печи W_n (в $м^3$) к ее суточной производительности (в тоннах чугуна); чем меньше численное значение этого коэфициента, тем меньше и удельный расход воды. В результате стахановских методов работы коэфициент использования перед войной был доведен до 1,0, а в отдельных случаях до 0,8—0,7 и даже несколько меньших значений.

Ввиду сказанного расход воды для печей весьма различен. В частности, для больших печей ($W_n = 1\,300$ $м^3$) при перепадах температур до 15° и при $K_n = 1{,}0 \div 0{,}85$ расход всей воды (для доменной печи и ее кауперов) принимают в 1,0 $м^3/час$ на 1 $м^3$ полезного объема, или 24—20,5 $м^3$ на 1 $т$ чугуна.

Что касается расходов этой воды для отдельных частей печи и для кауперов, то они характеризуются табл. 45. Расход воды довольно равномерен; коэфициент часовой неравномерности принимается в расчетах равным 1,05—1,10.

Таблица 45

Охлаждаемые части	Расход воды	
	в $м^3/час$	в % от расхода воды на печь
Шахта	292	24,1
Заплечики	83	6,9
Фурменная зона	133	11,0
Фурмы и их холодильники	230	19,0
Чугунная летка	20	1,6
Шлаковые летки	54	4,5
Горн	200	16,5
Прочие части	198	16,4
На печь всего	1 210	100
Клапаны кауперов	90	
Всего	1 300	—

Вода должна быть свободна от крупных взвешенных веществ; поэтому при получении воды из поверхностных источников она должна пропускаться через сетки[1].

Вода должна иметь возможно малую температуру; на практике обычно по экономическим соображениям не всегда соблюдают указанное условие и нередко даже в летнее время подают к печам воду, предварительно использованную для охлаждения конденсаторов.

При жесткой воде необходимо в каждом случае рассмотреть вопрос об умягчении воды для доменных печей, особенно для напряжен-

[1] На ответвлениях, которые устраиваются от внешней водопроводной сети к доменным печам, устанавливают фильтры напорного типа, представляющие собой герметически закрытые корпуса с помещенными в них медными дырчатыми цилиндрами, имеющими отверстия диаметром порядка 6 *мм*.

ных в термическом отношении элементов печей — фурм и фурменных холодильников.

Расчетные свободные напоры для печей современных конструкций высотой около 35 *м*, а также для кауперов, принимаются в 45—50 *м*. При кратковременных авариях водопровода допускают снижение напоров примерно на 10—15 *м* с уменьшением количества подаваемой воды на 20—25%. Однако, как это уже отмечалось ранее, необходимо полное обеспечение бесперебойности водоснабжения печей. Перерыв в подаче воды даже на короткое время может вызывать значительный ремонт печи с прекращением ее работы на длительный период; так, например, прекращение подачи воды на 3—4 мин. для фурм уже вызывает прогорание их, тогда как для смены их требуется остановка печи.

При охлаждении доменных печей и кауперов вода не загрязняется и лишь нагревается до 35—50°; иногда же в зависимости от принимаемого температурного перепада и жесткости воды допускают даже несколько больший нагрев воды. Ввиду этого вода может быть или 1) использована непосредственно для таких потребителей, которые не предъявляют особых требований к температуре подаваемой воды, либо 2) введена в оборот водоснабжения доменного цеха (с охлаждением ее); свежая вода при этом требуется в количестве порядка 5%.

Отработавшая вода сливается в особые отводные желоба, располагаемые на печах и кауперах на высоте 10—12 *м* от поверхности земли. Имея таким образом «остаточный» напор, воду можно направлять без подкачки по напорно-самотечным линиям на охлаждающие сооружения или в водопроводные устройства других потребителей.

Водопровод доменной печи. В соответствии с частями печи, которые требуют подачи воды для охлаждения, вокруг самой печи укрепляются два кольца водопроводных труб — верхнее для охлаждения верхней части печи (шахты) и нижнее — для охлаждения нижних частей (фурменной зоны с ее фурмами, заплечиков, горна). К указанным кольцам вода подводится стояками, которые в свою очередь получают воду из цеховой водопроводной сети[1]. Так как холодильники печи засоряются механическими примесями воды и выпадающими из нее (при нагреве) солями карбонатной жесткости, периодически производится промывка их водой под высоким давлением (6—10 *ат*). Чем значительнее жесткость охлаждающей воды, тем более частая требуется промывка.

Для получения промывной воды под высоким давлением пользуются подкачивающими насосами.

Увлажнение шихты. Очень часто производится при загрузке шихты в скипы в скиповых ямах, которые устраиваются вблизи доменных печей. Необходимое количество воды зависит от пыльности руды, кокса, флюсов, от объема печей, коэфициента их использования и на 1 *т* чугуна составляет около 0,4—0,6 *м*³. Температура воды и ее напоры значения не имеют, а потому обычно используется теплая вода, отводимая от доменных печей. Режим расходования весьма неравномерен; для регулирования его устраивают баки, постепенно наполняемые водой и быстро опорожняемые в моменты увлажнения шихты. Понятно, что в данном случае вся вода расходуется безвозвратно.

Охлаждение чугуна производится на машинах, которые разливают его в чушки, последние также охлаждаются на железнодорожных платформах[2]. Расход воды на это охлаждение[3] составляет примерно от

---

[1] Так как напоры (у поверхности земли) для верхнего и нижнего кольца печи требуются различные, то подвод воды к кольцам рационально (с точки зрения экономия энергии) делать от разных сетей, осуществляя таким образом зонирование водоснабжения печи.

[2] На этих платформах чушки отвозятся из цеха.

[3] И на некоторые другие операции, связанные с охлаждением.

от 1,0 до 2,0 $м^3$ на 1 $т$ чугуна при коэфициенте неравномерности в среднем около 1,5.

Ввиду того что вода при использовании загрязняется, оборот ее обычно не устраивают за исключением отдельных случаев при остром дефиците воды [1]. При этом необходимо: 1) устраивать отстойники для

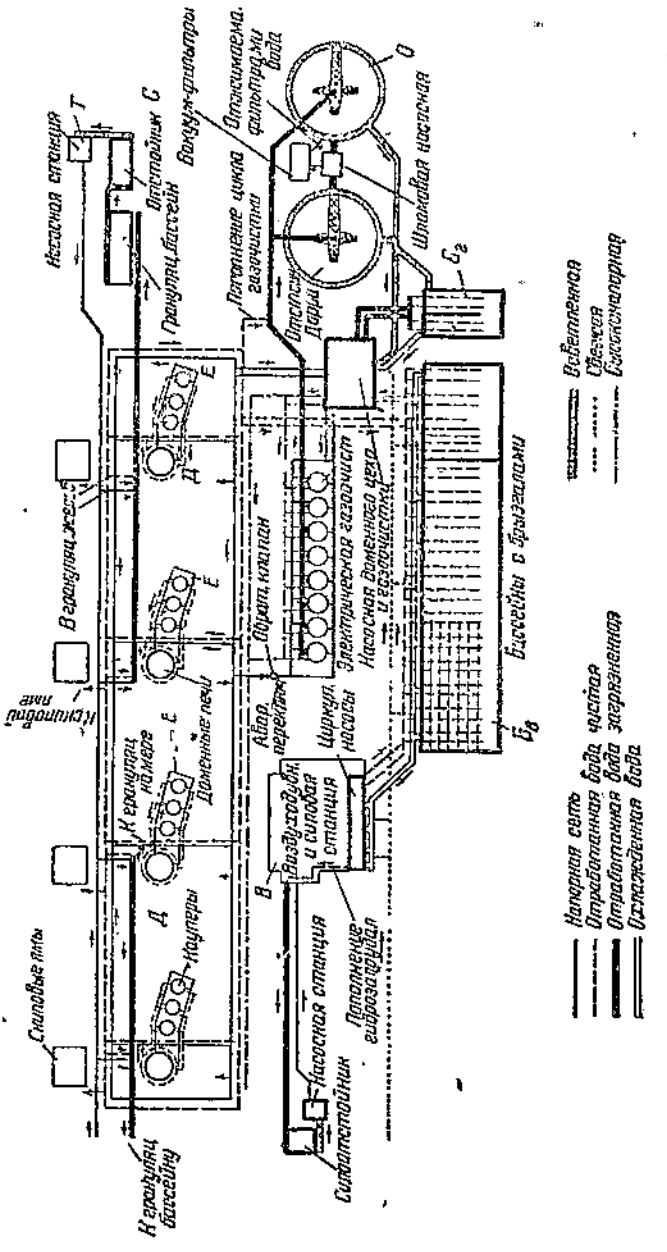


Рис. 569

осветления воды и 2) добавлять в оборотный цикл большое количество воды (до 50%) в возмещение потерь.

Грануляция шлака. Для собственно грануляции шлака «мокрым» способом в грануляционных камерах [2] в последние подается вода из

[1] Но и тогда следует по возможности использовать отработанную воду для таких потребителей, для которых качество воды значения не имеет, например для грануляции шлака.

[2] Располагаются близ доменных печей.

водопровода доменного цеха. Гранулированный шлак по самотечным желобам (рис. 569) направляется к грануляционным бассейнам; для обеспечения такого транспортирования шлака в желоба подается вода. Из грануляционных бассейнов шлак вывозится железнодорожными вагонами, вода же идет в отстойник и после отстаивания насосами станций подается под давлением 15—20 *м* в желоба для транспортирования шлака.

Расход воды: на собственно грануляцию — на 1 *т* чугуна около 0,45—0,4 *м*³ и на транспортирование 3,75—3,2 *м*³.

Общий расход воды в доменном цехе на 1 *т* чугуна[1] может быть в результате сказанного выше представлен следующими цифрами:

	Всей воды	Добавляемой при обороте
Для доменных печей и их кауперов	24,0 —20,5 *м*³	1,2 —1,0 *м*³
Для грануляции шлака .	0,45— 0,4 „	0,45—0,4 „
Для транспортирования шлака	3,75— 3,2 „	0,75—0,65 „
Для увлажнения шихты	0,6 — 0,5 „	0,6 —0,5 „
Для охлаждения чугуна	0,85— 0,75 „	0,85—0,75 „
Для прочих нужд . . .	0,15	0,15
Всего	30,0 —25,5 *м*³	4,0 —3,5 *м*³

Пример водоснабжения доменного цеха. На рис. 569 показана одна из схем оборотного водоснабжения доменного цеха, которая может быть признана как характерная для металлургических заводов. Это — схема своего рода комплексного водоснабжения, так как она связана с водоснабжением газоочистки (см. ниже) и воздуходувной станции *В*, служащей для обеспечения доменных печей *Д* дутьем.

Для охлаждения четырех доменных печей с их кауперами *Е* подается вода, предварительно прошедшая конденсаторы паровых воздуходувок и затем охлажденная в брызгальном бассейне *Б*.

Б. Газоочистка

Назначение устройств газоочистки — освободить газ, получаемый из доменных печей, от мелких частиц шихты для возможности использования его в тепловых установках завода.

Расход воды для очистки газа зависит от способа очистки и составляет 16—28 *м*³ на 1 *т* чугуна или 47 *м*³ на 1 000 *м*³ газа.

Мокрая механическая газоочистка. Газ предварительно очищается и вместе с тем охлаждается в скрубберах, представляющих собой металлические цилиндры высотой около 20 *м*, диаметром 5—7 *м*. В верхнюю их часть подается вода, которая при помощи сопел разбрызгивается на мелкие капли: падая вниз, они встречают газ, поднимающийся кверху, смачивают частицы загрязняющей его пыли, собираются вместе с ними в нижней части скрубберов и непрерывно удаляются отсюда по сточным каналам. Расход воды составляет 5,0—6,0 *л* на 1 *м*³ газа или 20—24 *м*³ на 1 *т* чугуна.

Окончательная очистка газа производится в дезинтеграторах, которые по своему устройству напоминают центробежные вентиляторы; здесь частицы газа весьма тщательно перемешиваются с подаваемой водой; образующийся при этом шлам выбрасывается центробежной силой в сточный канал. Расход воды составляет 0,6—0,8 *л* на 1 *м*³ газа или 2,4—3,2 *м*³ на 1 *т* чугуна.

После дезинтеграторов газ пропускается через водоотделители для освобождения его от захваченных им частиц воды. Полный расход воды около 6,0—7,0 *л* на 1 *м*³ газа или 24—28 *м*³ на 1 *т* чугуна.

Электрическая газоочистка одноступенная. Грязный газ подается в особый цилиндрический аппарат большой высоты, например около 40 *м*, и диаметром порядка 6,0 *м*. В нижней части аппарата—скруббер, над ним—первый элек-

[1] При больших печах с коэфициентом использования 1,0—0,85.

трофильтр («электрическое поле»), а еще выше — второй электрофильтр; оба электрофильтра периодически промываются водой под большим (до 10 *ат*) напором. Полный расход воды при этом способе около 4,5—5 *л* на 1 *м*³ газа или 18—20 *м*³ на 1 *т* чугуна.

Электрическая газоочистка двухступенная. Здесь газ проходит последовательно две ступени, в каждой из которых скруббер и электрофильтр. Общий расход воды составляет около 4 *л* на 1 *м*³ газа, или 16 *м*³ на 1 *т* чугуна.

Вода должна быть по возможности холодной. Напоры, с которыми она подается к аппаратам для очистки газа, — около 40—45 *м*, иногда гораздо выше; в последнем случае устанавливаются насосы — повысители давления.

Необходимо обеспечить бесперебойное снабжение водой цикла газоочистки, что следует учитывать при кольцевании водопроводной сети, при установке резервных насосов и обеспечении их энергией.

Проходя газоочистку, вода 1) нагревается до 40—45°, а временами и больше, 2) сильно загрязняется мелкими частицами колошниковой пыли (шихты) и растворенными примесями — вредными и даже ядовитыми. Спуск такой воды в водоемы потребовал бы ее предварительной сложной и дорогой обработки. Между тем после своего отстаивания и последующего охлаждения вода может быть использована снова на той же газоочистке. Ввиду этого водоснабжение газоочистки устраивается по оборотной системе: сбрасываемая вода направляется самотеком в отстойники[1], затем насосами нагнетается в распределительные линии брызгального бассейна[2], а после этого уже подается другими насосами на газоочистку. Происходящая в этом цикле потеря воды порядка 10% пополняется свежей водой. Ввиду того что газоочистка располагается сравнительно близко к доменному цеху, возмещение указанной потери делается иногда водой, которая была использована для охлаждения доменных печей; хотя последняя имеет температуру выше, чем вода источника водоснабжения завода, на это идут при необходимости экономии воды.

Пример оборотного водоснабжения газоочистки показан на приведенном уже рис. 569. Отработавшая вода направляется по самотечному каналу в отстойники, а отсюда к насосам, расположенным в здании насосной станции, которое является общим с насосной доменного цеха. Указанные насосы подают воду в брызгальный бассейн газоочистки; отсюда вода идет к другим насосам той же станции, которые и подают ее в водопроводную сеть газоочистки. Пополнение потерь в этом оборотном цикле производится водой от доменных печей. Для лучшего обеспечения бесперебойности водоснабжения предусмотрено аварийное присоединение водопроводной сети газоочистки к водопроводной сети доменных печей, в обычное время выключенное и имеющее задвижку и обратный клапан для предупреждения попадания загрязненной оборотной воды газоочистки в сеть печей.

В. Воздуходувная станция

Обычно устраивается паровая воздуходувная станция[3], оборудованная паровыми турбовоздуходувками, из которых каждая состоит из центробежной воздуходувки на одном валу с паровой турбиной; последняя получает пар от котельной. Водоснабжение паровоздуходувной станции устраивается по тем же принципам, что и водоснабжение конденсационных тепловых электростанций.

Расход воды (в основном на охлаждение конденсаторов), отнесенный к 1 *т* чугуна, составляет 25,0—45,0 *м*³ или в среднем около 30,0—35,0 *м*³. Вода от конденсаторов, как незагрязняющаяся и сравнитель-

[1] Дорра или нейштадские (см. курс канализации).

[2] Ввиду того что вода после отстойников не свободна от механических примесей, сопла бассейна применяют ударного типа.

[3] Редко встречаются газовоздуходувки.

но невысокой температуры, может быть оборачиваема. На металлургическом заводе эта вода используется нередко для других потребителей[1] — доменных и мартеновских печей и пр. При этом конденсаторы получают воду по прямоточной схеме непосредственно из источника водоснабжения. В зависимости от баланса водопотребления в различных цехах завода применяют иногда смешанную систему водоснабжения, при которой лишь некоторые конденсаторы находятся на прямотоке, а другие — на обороте воды.

Г. Мартеновский цех[2]

Основная масса воды здесь расходуется на охлаждение: а) головок мартеновских печей, б) рам и заслонок печей, в) перекидных клапанов.

Шихта (чугун, флюсы, руда) загружаются в печь через завалочные окна, которые могут закрываться металлическими заслонками, установленными в металлических рамах. Как рамы, так и заслонки непрерывно охлаждаются водой для предупреждения их от прогара и для облегчения работы обслуживающего персонала. Самый процесс плавки происходит в так называемом рабочем пространстве печи; с обоих концов последнего расположены головки, представляющие собой пролеты-каналы, по которым попеременно то подводятся в рабочее пространство газ и воздух, то отводятся из него продукты горения. Головки эти непрерывно охлаждаются водой для обеспечения стойкости их кладки. Высокую (до 1800°) температуру в рабочем пространстве печи обеспечивают благодаря предварительному подогреву газа и воздуха в особых регенераторах в виде камер, наполненных кирпичной насадкой; последняя нагревается продуктами горения, отходящими из рабочего пространства. После достаточного нагревания насадки, через нее в обратном направлении пропускаются газ и воздух, где они и подогреваются до температуры около 1000°.

Регенераторы соединяются с дымовой трубой, воздухопроводными и газопроводными каналами (боровами); на этих каналах установлены перекидные клапаны, изменяющие в нужные моменты направления движения газа, воздуха и продуктов горения.

Расход охлаждающей воды в *м*³/*час*: а) на один перекидной клапан около 4 *м*³, б) для каждой рамы 3—7 *м*³, в) для заслонки 1—2 *м*³, г) головок 35—50 *м*³ и более.

Мартеновские печи могут быть разнообразной емкости — от 5 до 300 *т* и даже больше. Суточная производительность печи зависит от продолжительности одной плавки и числа плавок за сутки. Продолжительность плавки зависит от емкости печи; чем она больше, тем продолжительнее плавка; малые печи дают 5—7 плавок за сутки, крупные (150 *т* и выше)—2—3, а при стахановских методах работы и больше.

Общее количество расходуемой воды различно и находится в зависимости от производительности печей (емкости их), конструкции, температурного перепада. При расчетах оно принимается равным 10,0—20,0 *м*³ на 1 *т* выплавленной стали.

Более правильным считается относить расход воды на одну печь той или иной емкости. Так, для печи емкостью около 100 *т* расход воды составляет 150 *м*³/*час*; для печи емкостью 200 *т* — 200 *м*³/*час*; для печи емкостью 250 *т* — 235—300 *м*³/*час*.

Часовое потребление воды принимается в расчетах равномерным. Требования к качеству воды — те же, что и для доменных печей, для охлаждения напряженных в термическом отношении элементов печей — головок, рам, заслонок — весьма важно подавать воду возможно малой жесткости.

Расчетные свободные напоры принимаются равными 25—30 *м* (не более). При кратковременных авариях допускают падение напора на 5—8 *м* с уменьшением количества подаваемой воды на 20—25%, но, как и для доменных печей, должна быть обеспечена бесперебойность водоснабжения.

При охлаждении печей вода не загрязняется, а лишь нагревается примерно до 50°.

---

[1] Как и показано на схеме по рис. 569.

[2] Из курса технологии материалов известно, что для передела чугуна в сталь применяются процессы: мартеновский, бессемеровский, томасовский, электроплавка. Нами рассмотрен получивший наибольшее применение — мартеновский процесс.

Вода может использоваться потребителями, которые не предъявляют требований к температуре воды, или вводиться в оборот для водоснабжения мартеновских печей с охлаждением ее в охлаждающих сооружениях; свежая вода требуется при этом в количестве порядка 5%[1]. Отработавшая вода поступает в сливные желоба, которые располагаются на высоте около 7—8 *м* над уровнем земли[2]; таким образом имеет место «остаточный» напор, который и позволяет направлять воду по самотечным линиям либо в охлаждающие сооружения, либо водопроводные устройства других цехов.

Ввиду того что в мартеновском цехе осуществляется установка нескольких печей, схема его водоснабжения представляется в следующем виде (рис. 570). От внешней сети несколькими вводами (один

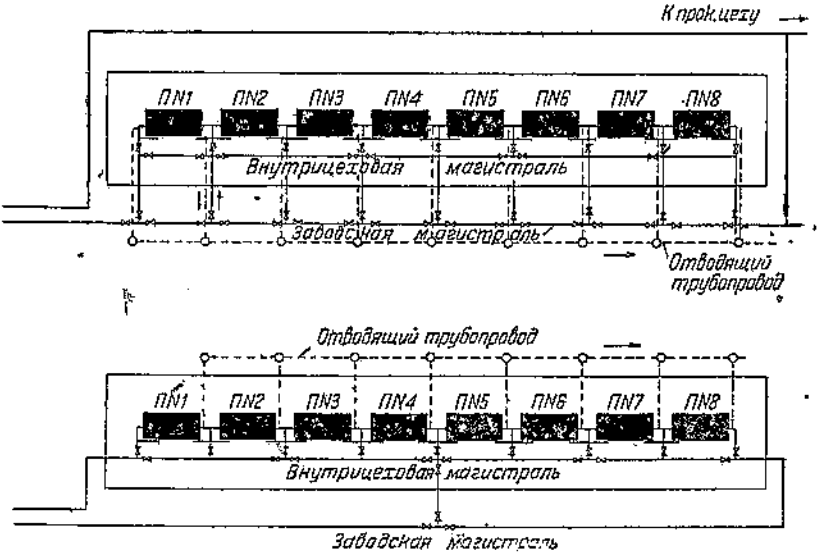


Рис. 570

на 1—2 печи) вода подводится к внутрицеховой магистрали, которая прокладывается вдоль фронта печей под рабочими их площадками.

Д. Прокатный цех

Основными потребителями воды здесь являются: 1) нагревательные устройства в виде колодцев и печей, где слитки стали нагреваются перед прокаткой до температуры 1100—1300°, и 2) прокатные станы различного назначения — блюминги[3], крупносортные[4], среднесортные[5], мелкосортные, специальные станы[6].

Нагревательные устройства. В нагревательных печах вода расходуется на охлаждение в весьма различных количествах, например, от 5,0 до 7,0 *м*³ на 1 *т* продукции, что объясняется разнообразием типов печей, различием их размеров и производительностей, систем их охлаждения.

---

[1] В самом цеху потери составляют около 0,5%.
[2] На высоте около 1,5 *м* над рабочей площадкой печи.
[3] Они прокатывают слитки стали в заготовки большого сечения (не менее 100 *мм*).
[4] Прокатывают тяжелые балки, рельсы.
[5] Прокатывают разные профили средних сортов.
[6] Прокатывают специальные профили разнообразных типов.

В нагревательных колодцах[1] расход воды, приходящийся на 1 *т* продукции, меньше, чем в нагревательных печах; например, для нагревательных колодцев блюмингов — около 0,3—0,7 *м*³ на 1 *т*.

Необходимые свободные напоры принимаются равными 25—30 *м*.

При кратковременных авариях допускают падение напора на 5—10 *м* с уменьшением количества подаваемой воды на 20—25%, но вообще обеспеченность бесперебойности водоснабжения должна быть полная.

Требования к качеству воды в основном те же, что и для мартеновских печей.

Отработавшая вода в основной массе не загрязнена и лишь несколько нагрета, а потому может поступать в оборот; при этом свежей воды требуется около 5%. В отличие от доменных и мартеновских печей отработавшая вода сбрасывается с малыми «остаточными» напорами.

Прокатные станы. Здесь вода расходуется в основном на охлаждение валков, их шеек и подшипников[2].

Прокатный стан представляет собой сложный комплекс агрегатов и механизмов и состоит в основном из трех частей: двигателя — обычно электромотора, передачи и рабочих клетей, в которых и происходит прокатка; число клетей в стане может быть весьма различно, от 1 до 15 и более.

Рабочая клеть представляет собой две станины, установленные на фундамент и поддерживающие валки, между которыми производится прокатка. Шейки валков лежат на подшипниках; последние могут сильно нагреваться, а потому обильно поливаются водой.

Ввиду чрезвычайного разнообразия конструкций станов, характера эксплоатации их и пр. признается более правильным исчислять расход воды на определенный стан на один час его работы. Только при ориентировочных расчетах принимают удельные расходы воды на 1 *т* продукции.

С учетом воды, расходуемой в нагревательных печах и колодцах, принимают следующие удельные расходы (в среднем):

для блюмингов	2,5— 3,0 *м*³	на 1 *т* продукции
„ крупносортных станов	10,0—12,0 „	„ 1 „ „
для среднесортных станов	12,0—14,0 „	„ 1 „ „
для мелкосортных станов	14,0—18,0 „	„ 1 „ „

а при более приближенных расчетах — 15—20 *м*³ на 1 *т* продукции.

Режим водопотребления — неравномерен и только в больших цехах со многими станами он нивелируется; часовой коэфициент неравномерности принимают около 1,15—1,25. Так как станы размещаются по поверхности земли, не требуется больших свободных напоров.

Как и в предыдущих случаях, должна быть обеспечена бесперебойность водоснабжения; только на очень короткое время допускают небольшое уменьшение количества подаваемой воды, например на 25%.

---

[1] Нагревательные колодцы—глубокие нагревательные камеры, в которых крупные слитки стали помещаются в вертикальном положении. Здесь вода расходуется в основном на охлаждение перекидных клапанов для предупреждения их прогара.

Мелкие слитки нагреваются в печах. Они «садятся» в наименее нагретую часть печи, а затем продвигаются толкателем по брусьям или охлаждаемым водой трубам, которые называются подовыми (глиссажными). Расход воды имеет здесь место на охлаждение дверок садочных и разгрузочных окон, подовых труб и других деталей.

[2] Очень небольшие количества воды расходуются на охлаждение вспомогательных механизмов и инструментов. Кроме того, незначительное количество воды требуется для гидравлических приводов механизмов прокатных станов ввиду высоких требований к качеству подаваемой воды; последняя получается обычно из сети хозяйственно-питьевого водопровода.

В подаваемой воде не должно быть механических примесей, которые вызывают истирание шеек валков и могут быть вредными для подшипников и т. п.

Для проката высокосортных сталей имеет значение и мягкость подаваемой воды. Это необходимо учитывать при введении оборота воды в прокатном цехе.

В прокатных станах вода слабо (примерно на 3—4°) нагревается, но зато сильно загрязняется окалиной, смазочными маслами, салом, обтирочными материалами.

При станах обычно устраиваются «местные» отстойники, однако выходящая из них вода содержит еще большое количество мелких частиц окалины, вредных для станов. Ввиду этого оборот воды, особенно для высококачественного проката, признается нецелесообразным.

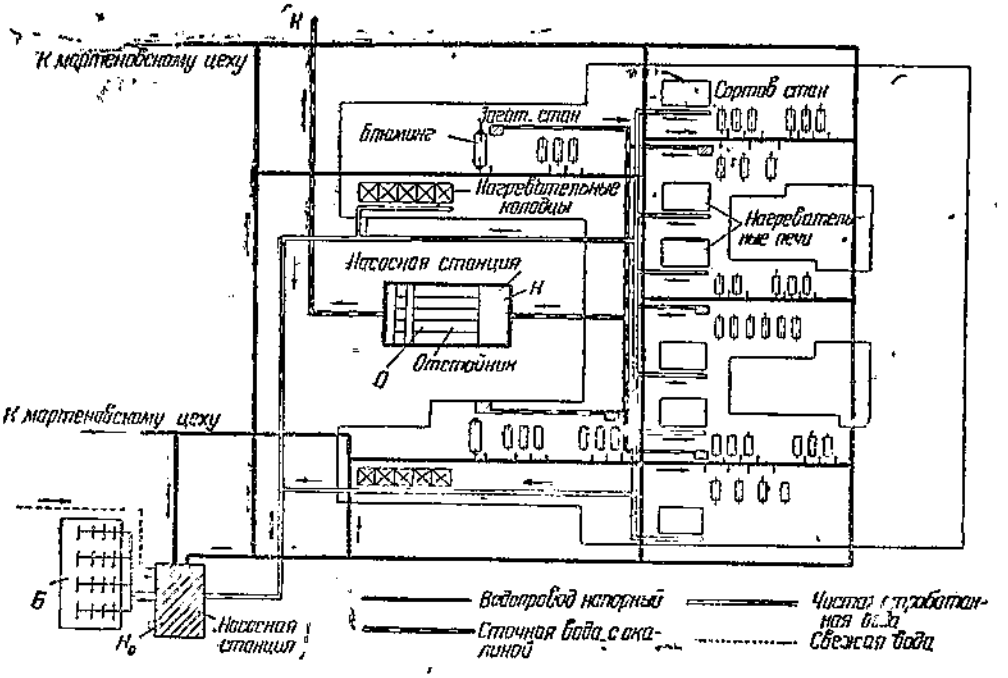


Рис. 571

Отстойники рационально устраивать даже при прямоточном водоснабжении станов для облегчения устройства и эксплоатации канализационных сооружений и для улавливания ценных продуктов — окалины и масел.

Только в отдельных случаях при маломощных источниках водоснабжения, значительной стоимости подвода воды издалека и пр. устраивается оборот воды; при этом необходимо учитывать, что: 1) добавка свежей воды требуется в больших количествах, до 15—20%[1], 2) остаточным напором отработавшая вода не обладает: она сливается в глубокие самотечные каналы.

На рис. 571 приведена для примера одна из схем водоснабжения прокатного цеха. Станы снабжаются водой по прямоточной схеме, причем отработавшая вода по самотечным каналам поступает к насосной станции *Н*, которая подает ее в отстойники *о*; пройдя последние, вода отводится с территории завода по канализационным трубам *К*.

Водоснабжение нагревательных печей и колодцев — оборотное. Использованная вода поступает по самотечным линиям к оборотной

[1] В самом цехе потери воды на испарение и утечку достигают примерно 5%.

насосной станции H_0; насосы последней качают воду в распределительные линии брызгального бассейна[1]. Другие насосы этой станции подают охлажденную и свежую воду в водопроводную сеть прокатного цеха, которая нередко объединяется с водопроводной сетью мартеновского цеха.

Е. Общий расход воды металлургического завода и схемы его водоснабжения

В табл. 46 приведены данные по общему расходу воды металлургического завода. Расход всей воды, отнесенный к 1 *т* чугуна, может колебаться в широких пределах, но чаще он составляет 150—175 *м*³;

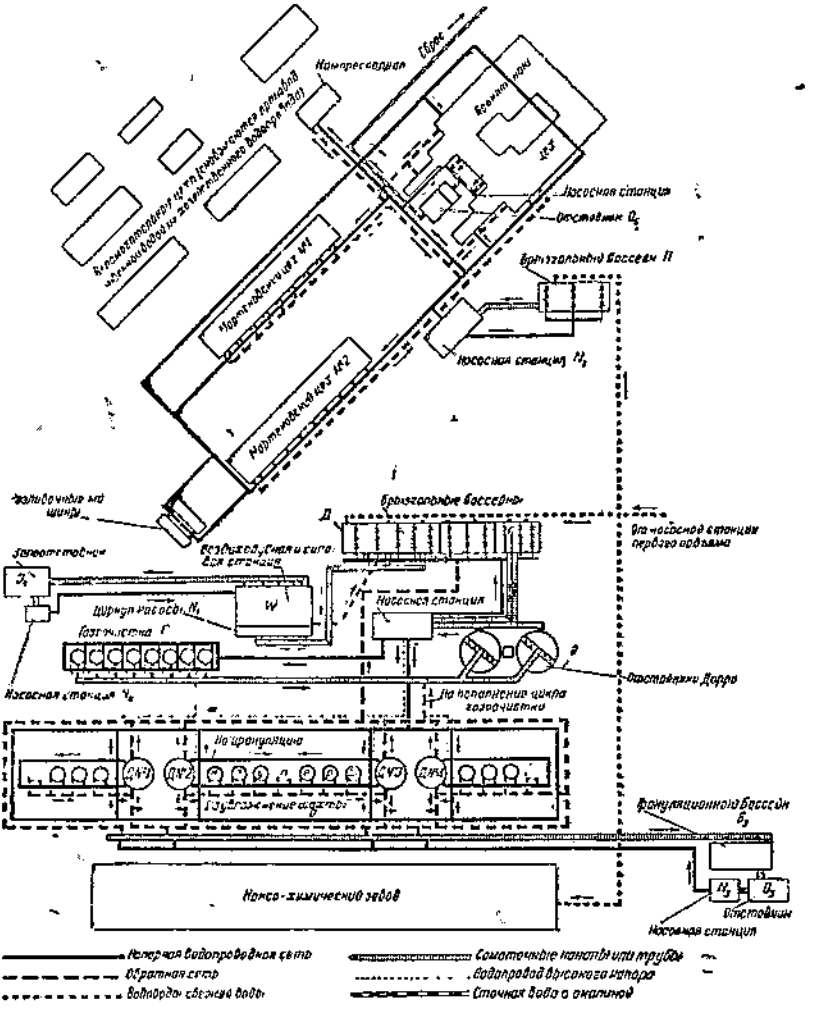


Рис. 572

соответственно расход свежей воды при оборотных системах водоснабжения — около 20—30 *м*³.

На рис. 572 показана одна из схем оборотного производственного водоснабжения завода. На этой же схеме показана и подача воды на

[1] Вместо брызгального бассейна могут устраиваться и градирни.

коксохимический завод, который обычно располагается рядом с доменным цехом, а иногда и сам является цехом[1]. Здесь вода расходуется в основном на охлаждение газа и конденсацию различных выделяемых из него продуктов (аммиака, сырого бензола и др.).

Таблица 46

Наименование водопотребителя	Единица, к которой отнесен удельный расход воды	Расход воды на единицу в *м³/сутки*	Удельный расход на 1 *т* чугуна в *м³*	
			всей	свежей
Доменный цех				
Охлаждение печей и их кауперов	1 *м³* полезного объема печи	24	20—25	1,0—1,25
Грануляция шлака	1 *т* шлака	1	0,5	0,5
Транспортирование гранулированного шлака	1 „ „	8	4,0	1,5
Увлажнение шихты	1 „ чугуна	0,5	0,5	0,5
Охлаждение чугуна	1 *т* разл. чугуна	1,0—2,0	1,0—2,0	0,5—1,0
Газоочистка				
а) мокрая механическая	1 000 *м³* газа	6—7	24—28	1,5—2,5
б) электрическая двухступенчатая	1 000 „ „	4	16	1,0—1,5
в) электрическая одноступенчатая	1 000 „ „	4,5—5,0	18—20	1,2—2,0
Воздуходувные станции				
а) газовоздуходувки	1 *т* чугуна	10	10	0,4—0,6
б) паротурбовоздуходувки	1 *квт-ч*	0,3	40—50	1,5—2,0
Силовые станции	1 „	0,3	50—60	2,0—2,8
Сталеплавильные цехи				
а) мартеновский	1 *т* стали	10,0—20,0	10,0—20,0	0,3—0,7
б) бессемеровский или томасовский	1 „ „	1,5	1,5	1,5
в) электропечи	1 „ „	5,0—20,0	5,0—20,0	0,25—1,5
Прокатные цехи				
а) печи и колодцы	1 *т* проката	0,5—8,0	—	—
б) станы	1 „ „	0,7—20,0	—	—
в) среднем по цеху	1 „ „	15,0	15,0	1,0—4,0
Вспомогательные цехи, транспорт и пр.*	1 *т* чугуна	2,0—4,0	2,0—4,0	2,0—4,0

* К числу вспомогательных цехов большого металлургического завода относятся: а) механические — для производства различных механических работ, необходимых для обслуживания сложного механического хозяйства завода, б) инструментальные — для изготовления и ремонта инструментов, необходимых для цехов завода, в) кузнечные, литейные для изготовления чугунного, стального и другого литья, необходимого для различных заводских нужд, г) деревообделочный, модельный, ремонтно-строительный и др.

Следует отметить также агломерационную установку—«фабрику», которая размещается или на самом заводе или на месте добычи руды. Руда, загружаемая в доменные печи, должна состоять из кусков определенных размеров, так как при мелкой пылеватой руде снижается производительность печей, и в виде колошниковой пыли уносится значительное количество ценной руды. Ввиду этого пылеватую руду приходится подвергать агломерации — спеканию в куски определенных размеров с добавкой небольшого количества мелкого топлива (в виде угольной, коксовой, антрацитовой мелочи). Вода требуется здесь в относительно малых количествах для увлажнения этой шихты; для охлаждения горячего агломерата и подшипников имеющихся механизмов; на 1 *т* агломерата расходуется около 1 *м³* воды.

[1] Такое расположение диктуется тесной производственной связью между коксохимическим заводом и доменным цехом; последний использует в качестве топлива кокс, вырабатываемый на заводе; с другой стороны, доменный газ используется как топливо коксовыми печами завода.

Основным продуктом завода является кокс, получаемый из соответственно подготовленного угля (отсортированного и промытого) путем его коксования в специальных печах; при коксовании происходит изменение физических и химических свойств угля, удаление из него летучих веществ и придание ему другого строения.

Самая коксовальная печь представляет собой камеру небольшой ширины — около 0,3—0,5 *м*, длиной около 12 *м*, высотой, примерно, 3 *м*; такие печи размещаются блоками по 50—60 шт. в каждом. Для нагрева печей используется, как уже отмечено, доменный газ или газ самих печей, сжигаемый в смеси с воздухом; предварительно как газ, так и воздух подогреваются в регенераторах или рекуператорах. Готовый шлак подается из печи в специальный газильный вагон; последний отводится под особую гасильную башню («камин»), где производится заливка кокса водой при помощи сети труб, расположенных в верхней части башни; на последней устанавливается обычно бак со сравнительно небольшим запасом воды. После выгрузки кокс сортируется (причем незагашенный заливается водой из брандспойтов) и подается в доменные печи.

Получающиеся при коксовании отмеченные ценные побочные продукты в виде аммиака, бензола и др. извлекаются в определенной последовательности из образующегося при коксовании коксового газа. Предварительно из газа путем охлаждения выделяются смола и вода, а затем уже аммиак и далее бензол. При этом аммиак перерабатывается в концентрированную аммиачную воду или в сульфат аммония.

В первом случае аммиак вымывается холодной водой из газа на скрубберах. Здесь очень большое значение имеют температура и степень жесткости подаваемой воды; чем выше температура или чем больше жесткость, тем хуже идет улавливание аммиака. Стекающая со скрубберов сырая аммиачная вода собирается в общий сборник.

Для производства сульфатаммония газ, содержащий аммиак, промывается серной кислотой в сатураторах; при достижении определенного насыщения кислоты аммиаком происходит выпадение в нижней части сатураторов кристаллов сульфатаммония.

Улавливание из коксового газа бензола производится на бензольных скрубберах, которые по существу сходны с аммиачными скрубберами.

Как и на всяких других химических заводах, в данном случае очень большое значение имеет температура подаваемой воды (чем ниже, тем лучше) и отсутствие в ней механических примесей, которые могли бы засорять трубки различных холодильных устройств, в которых вода двигается иногда с малыми скоростями. Часть воды при ее использовании не загрязняется, а только нагревается и после охлаждения (обычно в градирнях) снова используется; часть же воды загрязняется, в частности, фенолами.

Водоснабжение представляет собой комплекс самостоятельных оборотных циклов. Один из циклов (на схеме рис. 572 брызгальный бассейн *I* и циркуляционная насосная станция N_1) обслуживает водоснабжение воздуходувной и силовой станции *W*, доменного цеха (с четырьмя печами и их каупе рами) и газоочистки *Г*. Водоснабжение последней имеет своего рода подцикл; отработавшая вода поступает сначала на отстойники *О* (Дорра) и, только пройдя их, особыми насосами станции N_1 подается на особое отделение бассейна *I*, оборудованное соплами ударного типа. Пополнение потерь подцикла газоочистки производится водой, которая сбрасывается с доменных печей.

Иногда устраивается также подцикл грануляции шлака со своим грануляционным бассейном $Б_3$, отстойником $О_3$ и насосной станцией N_3. Может иметь место и подцикл золоудаления от силовой станции *W* с золоотстойником $О_4$ и насосной станцией N_4.

Ко второму оборотному циклу (брызгальный бассейн *II* и циркуляционная насосная станция N_2) относятся водоснабжения мартеновских и прокатных цехов. Ввиду того что свободные напоры подаваемой воды для всех этих цехов одинаковы, разводящая водопроводная сеть для них устраивается общая. К этой сети приключен и водопровод компрессорной *К*, которая расположена в районе наибольших потребителей сжатого воздуха.

Этот воздух требуется в больших количествах для мартеновских и нагревательных печей, для различных пневматических молотов и молотков, для литейных и пр. Расход воды (при нормальных степенях сжатия) около 3—8 *л* на 1 $м^3$ забираемого компрессором воздуха или, ориентировочно, 25—40 *л* на 1 *л. с. ч.* Необходимый напор по-

даваемой воды около 15—20 *м*. Вода не загрязняется (если не учитывать возможности попадания небольшого количества масла) и лишь нагревается до 40—45° (не более), а потому может быть использована, как оборотная; расход свежей воды при этом окол 5—6%. Бесперебойность водоснабжения должна быть обеспечена достаточно полно.

Водоснабжение станов прокатных цехов показано прямоточным с устройством отстойника O_5 для окалины и других примесей; пройдя последний, отработавшая вода сбрасывается по канализационной линии C с территории завода.

На схеме показана сеть высокого давления, подающая при помощи особых насосов станции N_1 воду к доменным печам для промывки холодильников и к газоочистке; сеть показана условно, так как нередко более целесообразно устанавливать местные насосы — повысители давления.

Подача свежей воды в брызгальные бассейны I и II, а также на коксохимический завод производится от насосной станции I подъема по водоводам B.

Если вблизи территории завода имеется возвышенность, то ею следует воспользоваться для устройства водонапорных резервуаров и обеспечения бесперебойности водоснабжения и хотя бы аварийных свободных напоров в водопроводных сетях труб.

Ввиду различия в величине требуемых свободных напоров обычно устраивают резервуары отдельно для сети высокого давления — доменного цеха и отдельно для сетей низкого давления — цехов мартеновского и прокатных.

При неблагоприятных топографических условиях приходится ограничиться устройством резервуаров лишь для сети мартеновского и прокатных цехов; желательно однако приключить к этим резервуарам и сеть доменного цеха с постановкой обратного клапана. Это позволяет доменному цеху при авариях с его водоснабжением получать воду хотя бы с пониженным давлением.

Что касается вместимости резервуаров, то при устройстве их открытыми с недорогой одеждой откосов и днища (раздел пятый) целесообразно помещать в них запасы воды до 12, а то и до 24 час. При необходимости по тем или иным местным условиям делать резервуары закрытыми, железобетонными вместимость их по экономическим соображениям приходится уменьшать до 3—4-часового запаса.

При значительном удалении возвышенности от территории завода стоимость прокладки к ним водоводов может оказаться очень большой. В этих случаях, а также при отсутствии возвышенных площадок вместо резервуаров устраивают водонапорные колонны или, что менее желательно, водонапорные башни.

Из-за различия в величине свободных напоров приходится устраивать колонны или башни отдельно для доменного цеха (одну—две) и отдельно для сетей мартеновского и прокатных цехов (одну—две); высота первых оказывается порядка 45—55 *м*, вторых — порядка 25—30 *м*.

Что касается вместимости колонн или баков водонапорных башен, то при диаметрах их порядка до 10—12 *м* и при аварийных напорах в сетях оказывается возможным иметь запасы воды примерно на 15—30 мин.

При большой жесткости воды источника водоснабжения рассматриваемая схема производственного водоснабжения может усложняться устройством водоумягчительной станции с прокладкой сети труб умягченной воды для таких, например, потребителей, как паровые воздуходувки, напряженные в термическом отношении части доменных и мартеновских печей, станы высококачественного проката, паровозы заводского железнодорожного транспорта.

При этом не все отмеченные потребители предъявляют одинаковые требования к степени жесткости воды, — для некоторых должна подаваться вода очень малой жесткости, для других допустима вода средней жесткости. Поэтому иногда целесообразно устраивать станцию умягчения, рассчитанную только на приготовление воды средней жесткости, а вблизи потребителей, требующих воды с очень малой жесткостью, устраивать дополнительно подстанции доумягчения.

Вспомогательные цехи показаны на рассматриваемой схеме расположенными отдельно от основных, как это обыкновенно и бывает. Ввиду этого, а также и потому, что расход производственной воды в них невелик, на территории их обычно не прокладывается производственный водопровод, а устраивается один только хозяйственно-питьевой (он же обычно и противопожарный); из него вспомогательные цехи получают воду и для своих производственных нужд[1].

Противопожарный водопровод рассчитывается в соответствии с установленными нормами и, как это уже отмечалось, в большинстве случаев он объединяется с хозяйственно-питьевым, а не с производственным водопроводом.

Глава XXI

СООРУЖЕНИЯ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ОБОРОТНОЙ ВОДЫ

§ 150. Брызгальные бассейны

Сущность устройства и действия брызгального бассейна. Брызгальный бассейн (рис. 573) представляет собой открытый, прямоугольной формы[2] резервуар с водонепроницаемыми днищами и стенками. На высоте около 1,2—1,5 *м* над нормальным уровнем воды в бассейне на специально устраиваемых опорах монтируются распределительные линии — обычно из чугунных или стальных труб с укрепленными на них (при помощи так называемых соплодержателей) соплами-брызгалками в виде небольших насадок.

Брызгалки обычно устанавливаются «кустами» (пучками) по 3—5 сопел и лишь некоторые типы сопел размещаются одиночно. Расстояния B между кустами принимаются в зависимости от типа сопел; взаимные расстояния между распределительными линиями C указываются далее.

Распределительные линии присоединяются к коллектору, который прокладывается вдоль одного из бортов бассейна и в который под давлением в несколько метров поступает охлаждаемая вода. Последняя выбрасывается из сопел разбитой на капли в виде факелов, высота и ширина (диаметр) которых зависят от конструкции и размеров сопел и от величины давления в распределительной линии. При этом, чем лучше разбивается вода на капли, тем лучше идет ее охлаждение.

Произведение $C \cdot B$ дает величину активной площади бассейна на каждый куст; при числе кустов N, произведение $C \cdot B \cdot N$ дает активную площадь Ω_a всего бассейна. Расстояния A от крайних сопел до бортов бассейна принимаются большими $^1/_2 C$, благодаря чему действительная площадь бассейна Ω оказывается больше активной площади на величину $\Omega - \Omega_a$. Величина эта может быть названа защитной зоной, так как назначением ее является предупреждение выноса капель

[1] Хозяйственно-питьевой и противопожарный водопровод завода на схеме не показан во избежание загромождения чертежа.

[2] Лишь в очень редких случаях встречаются бассейны многоугольной формы в плане, например, если из-за стесненности площадки промпредприятия нельзя придать бассейну прямоугольную форму; однако, такие решения нерациональны.

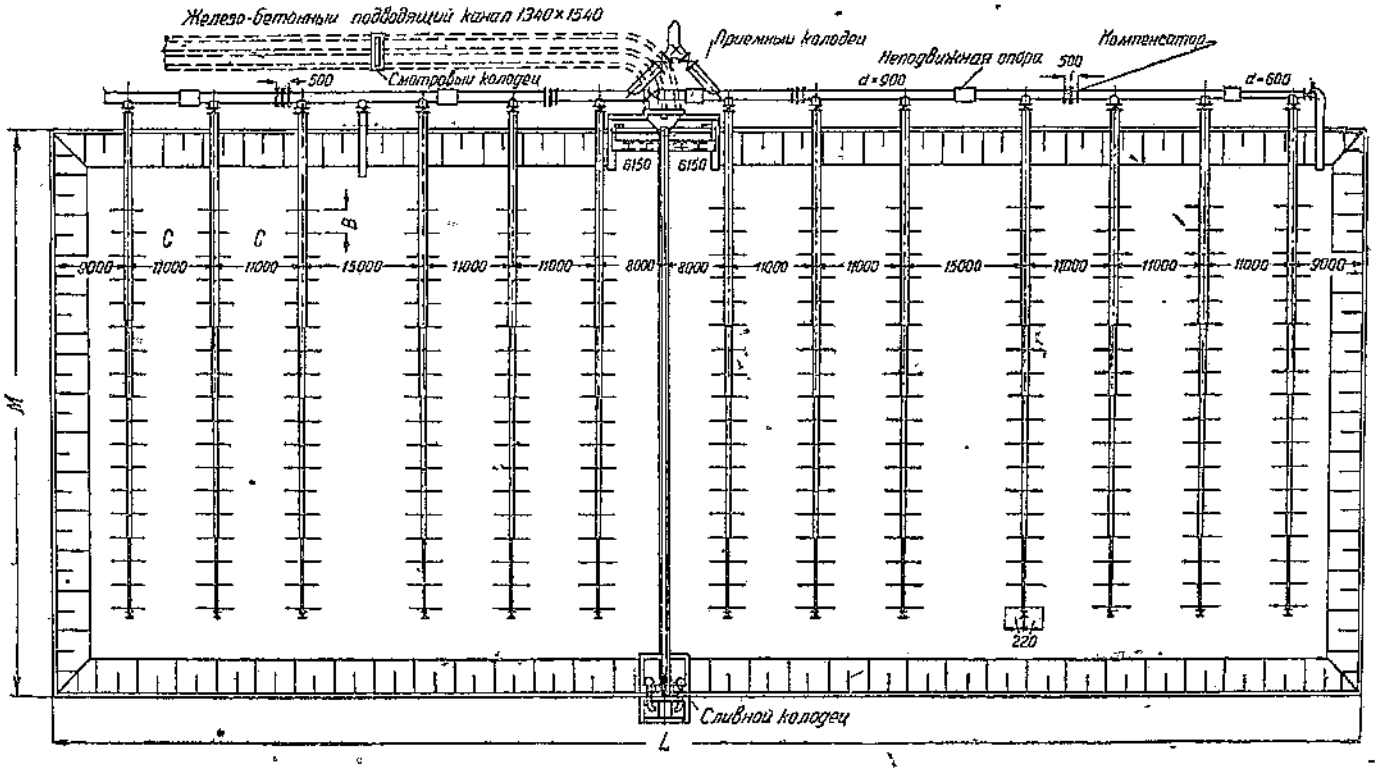

Железо-бетонный подводящий канал 1340×1540
Приемный колодец
Неподвижная опора
Компенсатор
500
Смотровый колодец
500
d=900
d=600
6150
6150
B
C
C
9000
11000
11000
15000
11000
11000
8000
8000
11000
11000
15000
11000
11000
11000
9000
220
H
Сливной колодец
L

Рис. 573

из бассейна при ветрах[1]. Частное от деления всей площади бассейна на число кустов сопел дает величину удельной площади бассейна: $\omega_y = \Omega : N$.

Количество Q охлаждаемой воды в $м^3/час$, деленное на активную площадь Ω_a бассейна в $м^2$, дает величину так называемой плотности дождя в $м/час$ $h_д = \frac{Q}{\Omega_a}$.

Охладительный эффект брызгального бассейна определяется в основном климатическими и конструктивными факторами. Из климатических факторов наибольшее значение имеют температура воздуха и его влажность. Теплоотдача воды происходит: 1) путем испарения, величина которого зависит от парциального давления пара и абсолютной влажности воздуха; 2) путем конвекции, величина которой прямо пропорциональна разности температур воды и воздуха.

Большое влияние оказывает ветер; при увеличении его скорости увеличивается количество воздуха, вступающего в теплообмен с охлаждаемой водой.

Сравнительно малое значение имеет солнечная радиация, по крайней мере, в пределах широт Европейской части СССР.

Если обозначить через t_1 — температуру (в °С) воды, подлежащей охлаждению, t_2 — температуру охлажденной воды, τ — температуру влажного термометра (теоретический предел охлаждения), то разность $t_2 - \tau$, называемая высотой зоны охлаждения, характеризует охладительный эффект брызгального бассейна. Этот же эффект характеризуется и разностью $\Delta t = t_1 - t_2$, которую называют шириной зоны охлаждения или, иначе, температурным перепадом.

Сопла. В водоохладительной технике применяются сопла разнообразных конструкций. При оценке их качеств необходимо обращать внимание: 1) на простоту конструкции и малый вес, 2) на степень засоряемости и возможность легкой прочистки без снятия их с места, 3) на гидравлические сопротивления при проходе через них воды, 4) на равномерность распределения дождя по площади факела, 5) на способность сопел диспергировать выбрасываемую струю воды на мелкие капли, 6) на способность давать большую величину испаряющей поверхности капель воды в воздухе, 7) на производительность сопел.

Производительность сопла характеризуется коэфициентом производительности K_c, который определяется из выражения:

$$K_c = \frac{Q_c}{\sqrt{H}},$$

где Q_c — производительность сопла в $м^3/час$; H — напор перед соплом в $м$.

На рис. 574 показано сопло Юни-Спрей производства американской фирмы Шютте-Кертинг. Сопло состоит: а) из бронзового корпуса с внутренней нарезкой внизу для навертывания на соплодержатель распределительной линии и б) винтообразного вкладыша, который помещается в корпусе и закрепляется здесь при помощи особого установочного винта; конструкция сопла этого типа обеспечивает вращательное движение воды, которая под действием центробежных сил разбивается на сравнительно мелкие капли; поэтому сопло и называют центробежным. Сопла Юни-Спрей изготовляются разных диаметров, однако почти исключительным распространением пользуются сопла с диаметром входного отверстия 50 $мм$ и выходного 25 $мм$ с коэфици-

[1] В малых бассейнах защитная зона заменяется иногда устройством ограждения в виде жалюзи.

ентом производительности K_c около 7,0; напор у сопел обычно принимается равным 5,0 *м*.

На величину K_c сильно влияет степень шероховатости внутренней поверхности сопла и вкладыша; при плохой их обработке шероховатость сильно возрастает; следует указать, что тщательная обработка сопел оказывается далеко не легкой задачей, кроме того, при работе сопла поверхность его с течением времени также становится шероховатой. В последнем случае необходимо снимать сопло, разбирать его и очищать с последующей шлифовкой.

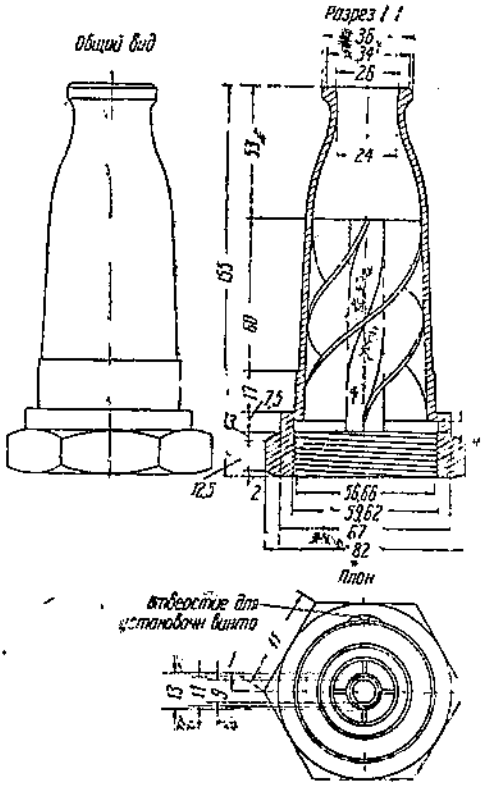


Рис. 574

Сходную с описанной конструкцию имеет и сопло Теплоэлектропроекта. При диаметрах входного и выходного отверстий в 50 и 25 *мм* коэфициент производительности составляет около 8,0.

Сопла этого типа устанавливаются кустами по 3 шт. (рис. 575). Расстояния между соплами в пучке 1,5—2,0 *м*. Взаимные расстояния между кустами (на распределительных линиях) около 3,5—3,0 *м* при расположении линий на 10,0—12,0 *м* одна от другой.

На рис. 576 показано сопло Спреко (II-А).

При диаметрах входного и выходного отверстий 50 и 20 *мм* коэфициент производительности K_c принимается равным 4,0. Сопла устанавливаются пучками по 4—5 шт. в каждом при взаимных расстояниях в пучке 1,2—1,5 *м*. Расстояния между пучками 4,0—5,0 *м* при размещении распределительных линий на 6,0—8,0 *м* одна от другой. Сопла описанного типа применяют в малых бассейнах при охлаждении незагрязненной воды. Вообще сопла центробежного типа сравнительно легко засоряются при подаче воды, загрязненной механическими примесями. С точки зрения меньшей засоряемости лучше применять сопла ударного типа без вкладышей.

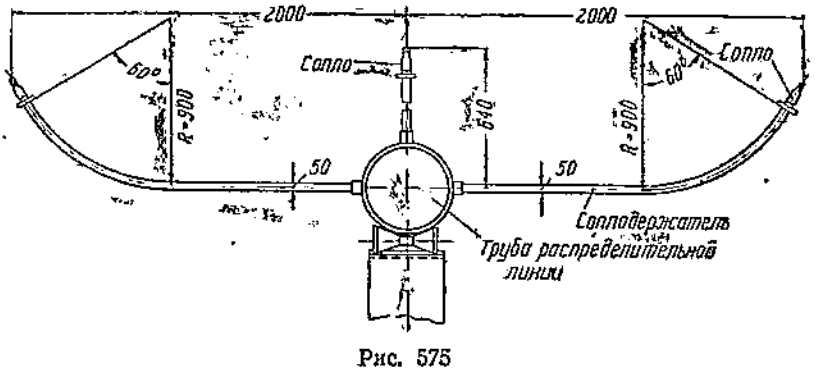


Рис. 575

В качестве примера ударного сопла на рис. 577 показано сопло Рэйп-Боттон американской фирмы Спреко. Вода входит в сопло по горизонтальному направлению, затем быстро переходит в вертикальное, поднимается по соплу к его потолку и выбрасывается в виде факела. Сопла этого типа характеризуются коэфициентом производительности, равным 2,6 при диаметрах входного и выходного отверстий 38 и 22 *мм* и 5,1 — при диаметрах 50 и 29 *мм*.

Сопла устанавливаются пучками при числе их в пучке 4—5 шт.; расстояния между соплами принимаются около 1,2—1,5 *м*. Расстояния между пучками — 4—5 *м* при расстояниях между распределительными линиями в 6,0—8,0 *м*.

На рис. 578 показано сопло (П-16), предложенное инж. А. А. Петровым, весьма простое в изготовлении. Сопло представляет собой отрезок стальной трубы диаметром 50 *мм*, на верхнем конце которой сделаны прорези в виде щелей; верхние части образующихся при этом полосок отгибаются к оси трубы таким образом, что получается конус, вершина которого служит выходным отверстием и имеет диаметр $d_в = 6 \div 8$ *мм*; число щелей[1] принимается обычно равным 16.

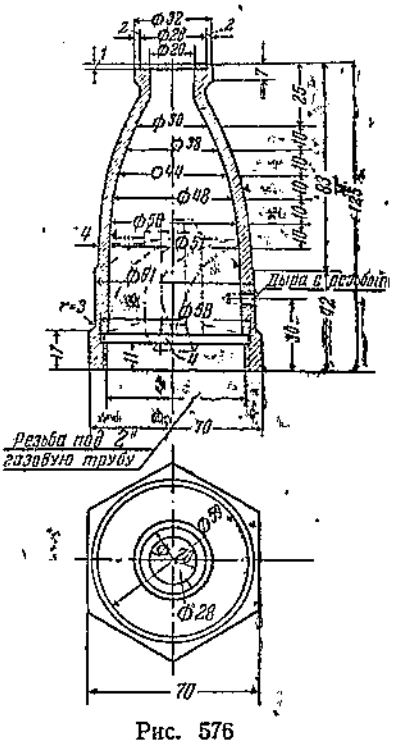


Рис. 576

Коэфициент производительности при диаметрах входного и выходного отверстий 50 и 8 *мм* принимается обычно при расчетах равным 20,0. Сопла располагаются на распределительных линиях отдельно стоящими на взаимных расстояниях 6,0—7,0 *м*; размещение их целесообразно производить в шахматном порядке; распределительные линии прокладываются на расстоянии 8,0—9,0 *м* одна от другой.

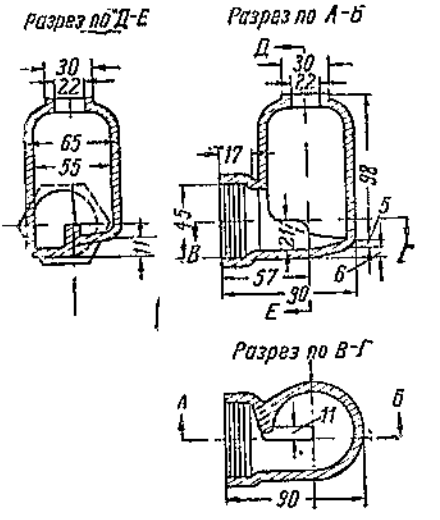


Рис. 577

Определение размеров брызгального бассейна. До настоящего времени не разработан еще единый метод теплового расчета брызгальных бассейнов. Поэтому расчет приходится производить на основании данных экспериментальных исследований бассейнов с соплами различных типов.

---

[1] Вопрос о рациональных размерах щелей и выходного отверстия разработан еще недостаточно полно ввиду сравнительно малого числа произведенных исследований, однако, можно указать, что при тщательном изготовлении сопла диаметр выходного отверстия более 8 *мм* едва ли целесообразен.

Предварительно по заданному количеству охлаждаемой воды Q *м*³/*час* ориентировочно назначают геометрические размеры бассейна, а потом уже производятся проверочные тепловые расчеты, на основании экспериментальных данных.

Плотность дождя, отнесенная к активной площади бассейна, при всех типах сопел, кроме П-16, принимают от 1,2—1,5 *м*/*час* при напоре у сопел в 5,0 *м*; при соплах же П-16 плотность дождя принимается равной 1,2—1,3 *м*/*час* при напоре в распределительной линии 9,0 *м*.

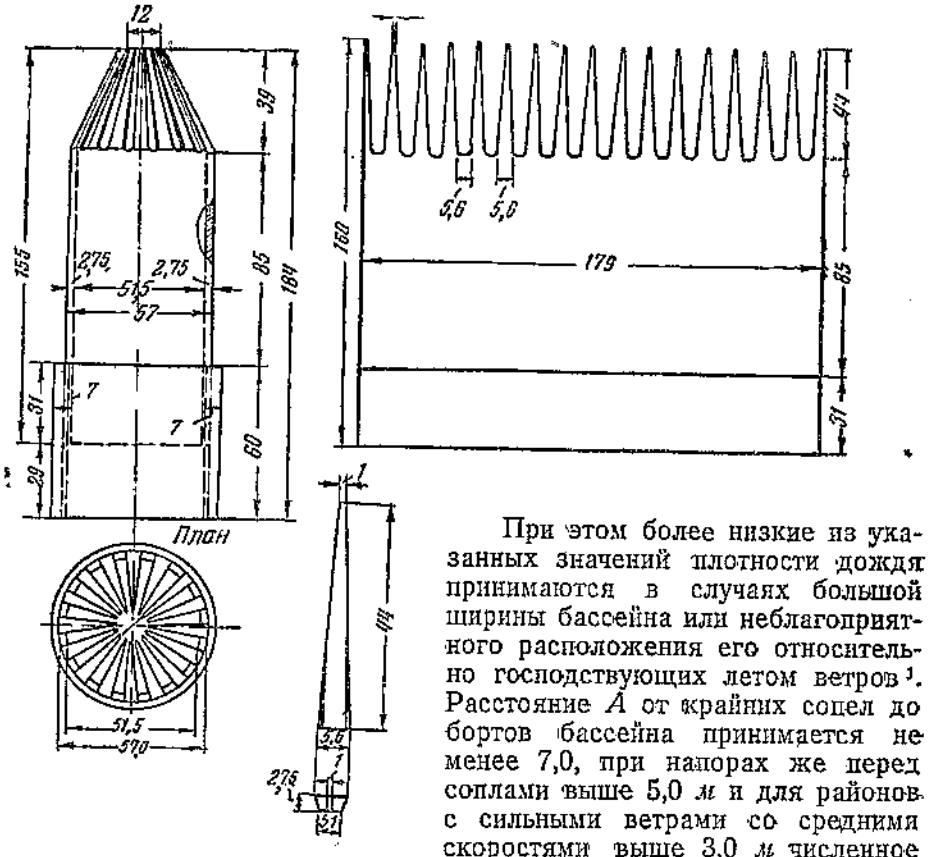


Рис. 578

При этом более низкие из указанных значений плотности дождя принимаются в случаях большой ширины бассейна или неблагоприятного расположения его относительно господствующих летом ветров[1]. Расстояние A от крайних сопел до бортов бассейна принимается не менее 7,0, при напорах же перед соплами выше 5,0 *м* и для районов с сильными ветрами со средними скоростями выше 3,0 *м* численное значение A увеличивается в пределах до 10,0 *м*.

Пользуясь приведенными данными, а также цифрами расстояний между распределительными линиями, можно наметить активную площадь бассейна Ω_a, полную площадь его Ω, ширину бассейна M и длину его L.

Во избежание уменьшения охладительного эффекта действия бассейна ширину M не следует принимать более 50—55 *м*. По длине бассейн разбивают на секции, располагая в каждой из них по нескольку распределительных линий[2].

Глубина бассейна определяется высотой слоя воды и возвышением борта бассейна над горизонтом воды. Высоту слоя воды рекомендуется принимать в 1,5 *м*, однако эту цифру иногда несколько уменьшают

[1] Если вместо защитной зоны предусматривают устройство ограждений из жалюзи, то указанные цифры плотности дождя уменьшают на 15—20%.

[2] Иногда, исходя из практики постройки брызгальных бассейнов в США, расстояния C через каждые 3—4 распределительные линии берут большими, чем указано ранее, например, 14,0—15,0 *м*, обеспечивая тем самым подачу больших количеств воздуха для увеличения охладительного эффекта бассейна.

вследствие неблагоприятных геологических условий, иногда же значительно увеличивают (например до 3,5 *м*) для создания запасов оборотной воды. Расстояние от нормального горизонта воды до борта бассейна принимается не менее 0,3 *м*.

Потери воды при охлаждении ее в брызгальных бассейнах. Потерю воды на испарение определяют приближенно в процентах от полного расхода охлаждаемой воды по табл. 47.

Таблица 47

Температурный перепад в °С	5	10	15	20	25	30
Лето	0,8	1,6	2,4	3,1	4,0	5,0
Весна и осень	0,6	1,2	1,8	2,3	3,0	3,8
Зима	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,5

Потеря воды на унос ветрами принимается для малых бассейнов от 1,5 до 3,5% от расхода оборотной воды; для средних и больших бассейнов — от 1,0 до 2,5%. В целях уменьшения потерь воды на унос ветром иногда сопла крайних распределительных линий устанавливаются с наклоном внутрь бассейнов, но если при этом расстояние между смежными линиями не увеличивается, то это ведет к ухудшению охладительного действия бассейнов.

Непрерывное испарение некоторой части воды при ее охлаждении в брызгальном бассейне и распыление ее соплами, связанное со значительной потерей углекислоты, вызывают нарастание минерализации оборотной воды и выпадение солей во всей системе оборотного цикла. Особенно опасны соли карбонатной жесткости. Борьбу с этим явлением ведут: а) путем так называемой продувки бассейна, под которой понимают сброс некоторого количества воды из бассейна и подачу в последний свежей воды из источника водоснабжения в возмещение указанного сброса[1]; б) путем химической обработки воды.

Если обозначить через $Ж_{max}$ наибольшую допустимую карбонатную жесткость в нем. градусах; $Ж_c$ — карбонатную жесткость добавляемой воды в нем. градусах; $P_п$ — количество воды, необходимое для продувки бассейна, в процентах от количества оборотной воды; $P_и$ — количество испаряющейся воды, определенное по табл. 47; $P_в$ — количество воды, уносимой ветрами, то $P_п$ можно определить из упрощенного выражения:

$$(P_п + P_и + P_в) Ж_c = (P_в + P_п) Ж_{max},$$

откуда

$$P_п = \frac{Ж_c}{Ж_{max} - Ж_c} \cdot P_и - P_в.$$

Выбор места расположения брызгального бассейна. При выборе места расположения брызгального бассейна приходится учитывать сложный комплекс условий.

Выносимые ветром из бассейна капли воды и туман ложатся на находящиеся вблизи здания, железнодорожные пути, воздушные трубопроводы, электропровода и другие устройства. Поэтому зимой поверхности отмеченных устройств обычно обледеневают, что весьма нежелательно с эксплоатационной точки зрения[2]. Во избежание этого

[1] Сбрасываемая вода используется по возможности для тех процессов, для которых повышенное солесодержание не имеет значения.

[2] Особенно неблагоприятен вынос капель морской воды при оборотном водоснабжении промпредприятий в приморских районах.

брызгальные бассейны относят от зданий, сооружений, путей на расстояния, которые выбираются в зависимости от силы и направления ветров, от ответственности и значимости сооружений и пр. При этом признается целесообразным эти расстояния принимать: а) не менее 80—100 *м* для бассейнов средней и большой производительности; б) не менее 60—80 *м* для малых бассейнов (производительностью до 500 *м*³/*час*).

Так как не всегда представляется возможным выдерживать такие расстояния, то их уменьшают иногда до 30—35 *м*, устраивая ограждения малых бассейнов из жалюзи.

Наименьшие расстояния от бассейнов до открытых электроподстанций принимают в 1½ раза больше вышеуказанных величин.

Весьма важным условием для обеспечения охладительного эффекта брызгальных бассейнов является размещение распределительных их

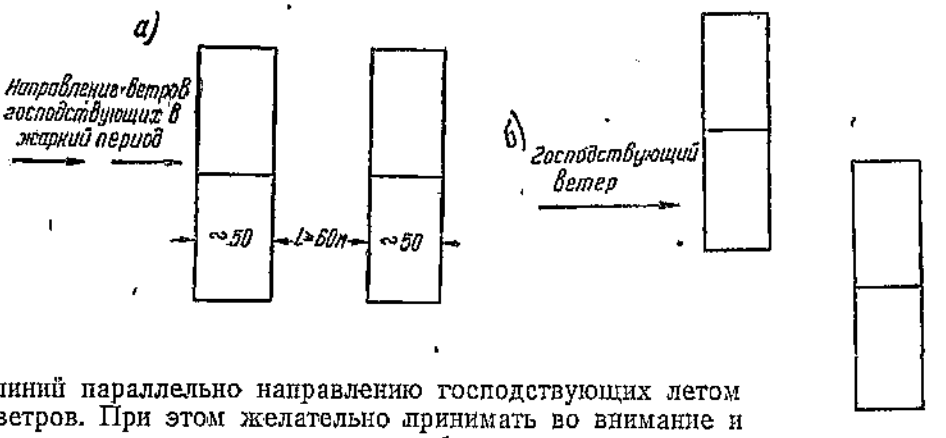


Рис. 579

линий параллельно направлению господствующих летом ветров. При этом желательно принимать во внимание и направление зимних ветров, чтобы выносимые ими из бассейнов капли и туман отводились в сторону от находящихся поблизости сооружений.

Кроме того, при проектировании необходимо также учитывать: а) возможность рационального подвода теплой воды к бассейну, отвода из него охлажденной воды; опорожнение бассейна (на случай ремонта, осмотра, очистки и пр.); б) размещение в будущем новых цехов или расширение существующих; в) возможность увеличения площади бассейна; г) обеспечение минимального количества земляных работ; д) выбор варианта, наиболее благоприятного с гидрогеологической точки зрения.

Если при устройстве брызгального бассейна больших размеров возникают серьезные препятствия к размещению его на промплощадке, то такой бассейн разделяют на два, располагая их иногда относительно направления господствующих летом ветров один за другим по рис. 579, *а* с оставлением между ними свободного промежутка не менее 60—70 *м*. Однако такое расположение нерационально, так как подходящий ко второму бассейну воздух оказывается уже влажным и теплым; поэтому лучше расположение по рис. 579, *в*, когда один из бассейнов несколько сдвинут относительно другого.

Строительная часть брызгальных бассейнов. Выбор типа одежды брызгального бассейна производится с учетом всего комплекса местных условий — напластования грунтов, уровня грунтовых вод, сейсмичности района, наличия местных стройматериалов и т. д.

Конструктивное оформление каменной одежды (из железобетона, бетона, кирпича, бута), а также простейшей (из глины, асфальтобетона и др.) осуществляется примерно по тем же типам, которые применяются для водозаласных емкостей (см. раздел пятый).

Можно значительно сократить и удешевить работы, если вместо постройки специального брызгального бассейна использовать имеющийся вблизи промышленного предприятия водоем в виде пруда, озера и над его зеркальной поверхностью расположить на опорах распре-

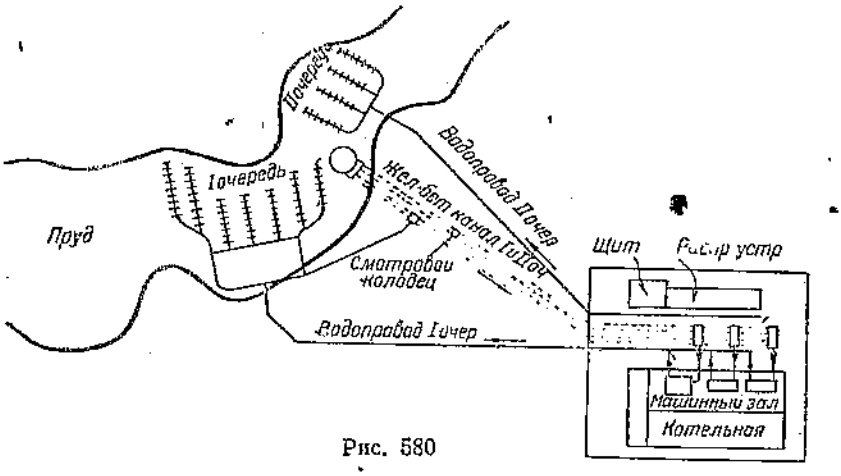


Рис. 580

делительные линии с соплами (рис. 580). Экономичность подобного решения должна оцениваться с учетом эксплоатационной стороны, в частности, расхода энергии на подъем охлажденной воды насосами, отсутствия потерь воды на унос каплями[1] и благодаря этому возможности подводить теплую воду к соплам с большими напорами, что обеспечивает лучший охладительный эффект.

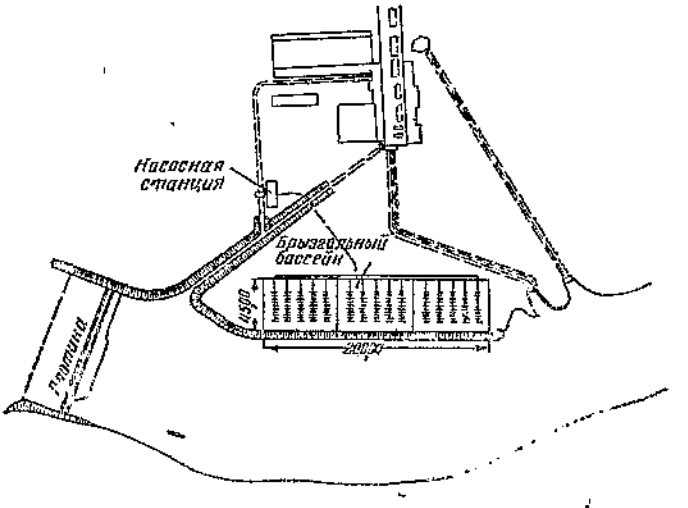


Рис. 581

Иногда удается избежать устройства бассейна за счет укладки магистральных и распределительных линий по берегу водоема (рис. 581), ограничиваясь в этом случае лишь планировкой и мощением берега.

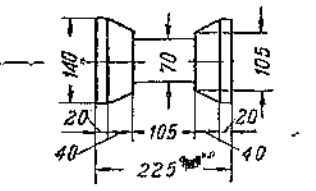
Распределительные линии и их опорные столбы. Сопла бассейна укрепляются на стальных трубах малого диаметра — соплодержателях, которые в свою очередь присоединяются к распределительным линиям.

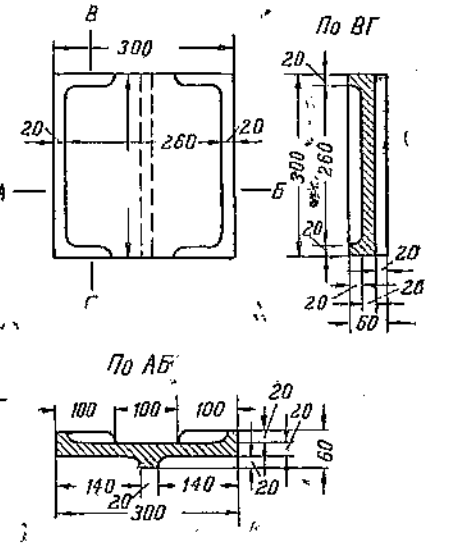
[1] Так как капли падают в тот же водоем.

Если последние стальные, то соплодержатели привариваются к ним; если же линии монтируются из чугунных труб, то приходится прибегать к установке специальных фасонных частей (рис. 582) с приливами с внутренней нарезкой; в них и ввертываются соплодержатели.

При обычных жестких стыковых соединениях распределительные линии ввиду значительных температурных колебаний укладываются по каткам, устанавливаемым на столбах. На рис. 583 показан пример чугунного катка наподобие ската с бандажами; каток устанавливается не прямо на столб, а посредством чугунной подушки в виде плиты с ребрами. Проще выполнять катки из обрезков стальных труб.

Взамен металлических труб для распределительных линий можно применять асбестоцементные и дере-





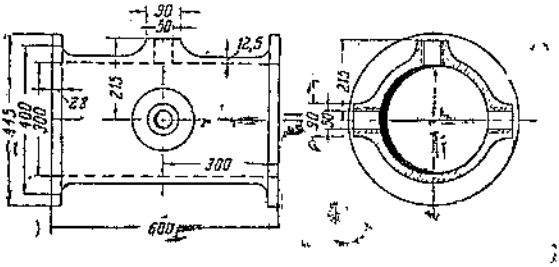


Рис. 582

Рис. 583

вянные звеновые трубы. Столбы под распределительными линиями часто устраиваются железобетонными с предварительной заготовкой их на строительных дворах и с последующей установкой на место, как видно из рис. 584; глубина заложения на 0,7—1,0 *м* ниже верхней по-

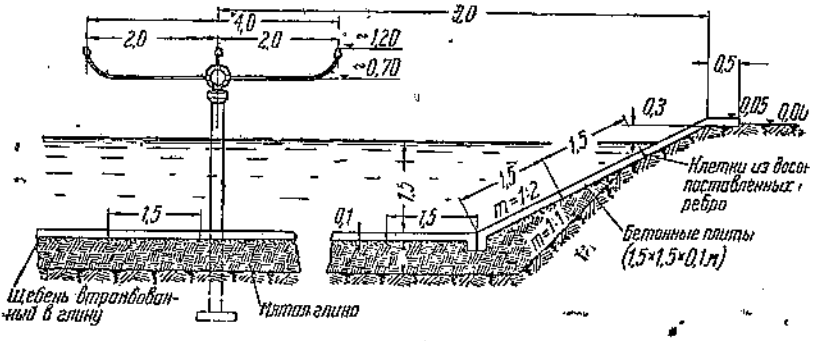


Рис. 584

верхности дна бассейна с учетом возможности опорожнения его в зимнее время. В отдельных случаях столбы устраиваются металлическими из уголков при наличии обрезков их на месте работ.

Для лучшего обслуживания сопел, особенно при глубоких бассейнах, столбы устраиваются иногда в виде парных железобетонных

стоек, соединенных между собой поперечными и продольными балочками; по последним и прокладываются распределительные линии труб; по поперечинам же устраивается служебный настил (с перилами) из пропитанных антисептиком досок. Вообще же нет необходимости прибегать к железобетонным или металлическим столбам, так как их можно устраивать из дерева, особенно в местностях, богатых лесом. При расположении распределительных линий над поверхностью воды в водоемах в качестве столбов могут применяться сваи.

Питание магистральных и распределительных линий производится при помощи водоводов теплой воды, идущих от охлаждаемых агрегатов. Если последние сбрасывают теплую воду с высоты в несколько метров над поверхностью земли, то подача воды к соплам бассейна (с требуемым давлением) осуществляется без установки подкачивающих насосов по напорно-самотечным водоводам. В интересах эксплоатации при проектировании следует предусматривать устройство сброса воды в бассейн помимо распределительных линий. Если местные условия не допускают подачи теплой воды к соплам с требуемым давлением и требуется подкачивающая установка, то размещение последней должно обеспечить искусственный сброс воды в бассейн. Это требование должно быть выполнено и в тех случаях, когда теплая вода сбрасывается в самотечные каналы.

При устройстве бассейнов значительной величины диаметры магистральных труб достигают 1,5 *м* и более; поэтому для уменьшения диаметров труб и размеров арматуры теплую воду подводят не к одной точке магистрали, а к нескольким. При малых бассейнах распределительные линии присоединяются непосредственно к водоводу теплой воды.

Достоинства и недостатки брызгальных бассейнов. К достоинствам брызгальных бассейнов относят: 1) меньшую стоимость их по сравнению с башенными градирнями; 2) простоту конструкции; 3) более длительный срок амортизации по сравнению с градирнями; 4) возможность во многих случаях просто и экономично создать на промплощадке большие аварийные запасы воды путем увеличения размеров бассейна (глубины его).

К недостаткам брызгальных бассейнов следует отнести: 1) большую площадь (по сравнению с градирнями); 2) зависимость охладительного эффекта от ветров; 3) более низкий по сравнению с градирнями охладительный эффект при перепадах температуры выше 10°; 4) значительный унос воды ветрами; 5) образование в зоне расположения бассейнов значительных туманов; 6) обледенение соседних с бассейнами зданий и различных устройств на промплощадке[1]; 7) необходимость в связи с туманообразованием и уносом капель воды отдалять бассейны на большие расстояния от зданий и дорог.

Спрейдэки. Особый тип маленького брызгального бассейна представляет собой так называемый спрейдэк, где сопла (рис. 585) располагаются на водонепроницаемой крыше производственного здания; непосредственно под соплами специального бассейна в данном случае не устраивается, и охлажденная вода, не задерживаясь на крыше, сливается в специальный подземный резервуар. Расстояние от сопел до края спрейдэка принимают равным 5—6 *м*. Для уменьшения уноса капель воды по краям спрейдэка устраивают ограждения (специальные жалюзи).

---

[1] Для уменьшения вредного влияния выноса капель воды в зимнее время уменьшают высоту факелов охлаждаемой воды за счет уменьшения напора в распределительных линиях.

Спрейдэки имеют большое распространение в США, у нас же они применяются пока редко; однако, они могут найти применение для

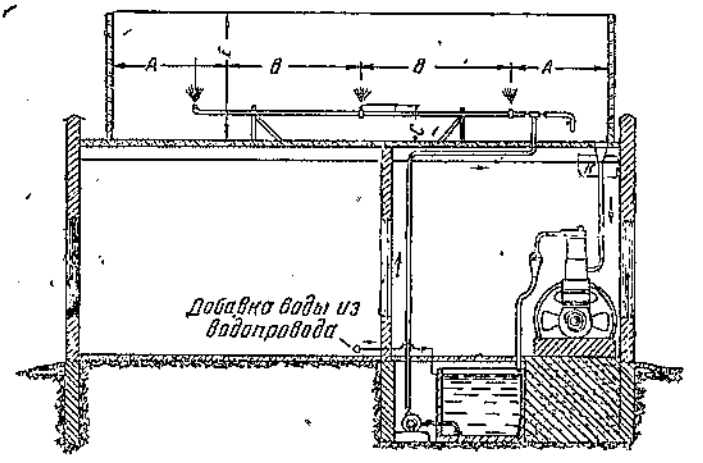


Рис. 585

охлаждающих устройств с небольшим расходом оборотной воды (для двигателей внутреннего сгорания и компрессоров малой мощности, холодильников и т. п.).

§ 151. Градирни

А. Башенные капельные градирни

Башенная капельная градирня состоит в основном (рис. 586) из оросителя, в верхнюю часть которого подается охлаждаемая вода, вы-

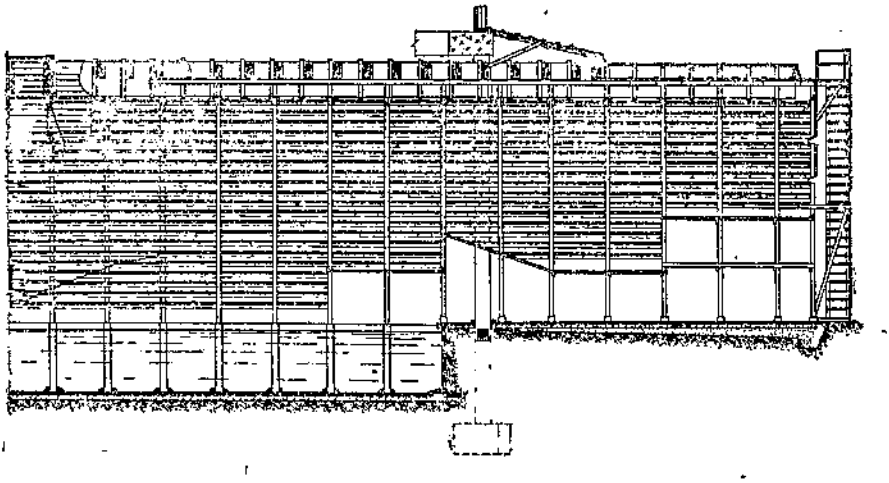


Рис. 586

тяжной башни, сборного бассейна охлажденной воды, располагаемого под центральной частью[1] оросителя, и розеты — наклонной кольцевой площадки — под остальной частью оросителя. В малых градирнях с площадью оросителя до 100 $м^2$ сборный бассейн устраивается под всем оросителем.

[1] Иногда под его периферийной частью.

Системой желобов и лотков, помещенных над оросителем, охлаждаемая вода распределяется по его площади и падает на его решетник, состоящий из большого числа деревянных реек, расположенных горизонтальными рядами. Затем вода каплями падает по рейкам, проходя длинный путь; при падении капли встречаются с потоком воздуха, поступающего снаружи в ороситель и двигающегося в его толще.

Имея большую площадь соприкосновения с воздухом, вода отдает ему теплю; вытяжная башня обеспечивает хорошую тягу и непрерывное поступление новых порций свежего воздуха.

Наиболее часто градирни этого типа устраиваются деревянными. Об основных размерах их можно судить по данным, приводимым в табл. 48.

Таблица 48

Площадь оросителя в $м^2$	10	20	50	100	200	500	1 000	1 500	2 000	2 400
Общая высота градирни в *м*	18	18	19	21	23	29	36	41	46	49
Форма оросителя в плане	Квадрат			Равносторонний многоугольник или прямоугольник			Равносторонний многоугольник			
Высота подачи воды в *м*	6—7						7—8			
Отношение площади выходного сечения башни к площади оросителя	0,3—0,4						0,25—0,3			

Производительность градирен, так же как и брызгальных бассейнов, определяется по плотности дождя.

Если площадь оросителя F_{op} выразить в $м^2$, количество охлаждаемой воды G_w в *кг/час*, то величина

$$h = \frac{G_w}{1000 \cdot F_{op}} \; м/час$$

и называется плотностью дождя, или иначе удельной гидравлической нагрузкой. Удельная же тепловая нагрузка определяется из выражения

$$h \cdot \Delta t = \frac{G_w \Delta t}{1000 \cdot F_{op}} \; кг/м^2 \text{ в час},$$

где $\Delta t = t_1 - t_2$ — перепад температур воды.

Ороситель и его водораспределительное устройство. Решетник оросителя устраивается из деревянных реек, которые укрепляются на подрешетниках из досок; форма поперечного сечения реек бывает различной (рис. 587). Очень часто применяются рейки трехгранные; этот тип признается особенно целесообразным для центральных частей градирен, так как обеспечивает хорошие условия для тока воздуха по вертикальным и диагональным направлениям. Решетник этого типа рекомендуется к применению отдельными нормативными материалами[1], причем размер реек принимается $50 \times 50 \times 71$ *мм* при шахматном их расположении по горизонтали в 150 *мм*, а по вертикали в 300—350 *мм*. При

[1] Основными положениями для проектирования сооружений для охлаждения воды Наркомата электростанций, которые далее для сокращения называются основными положениями.

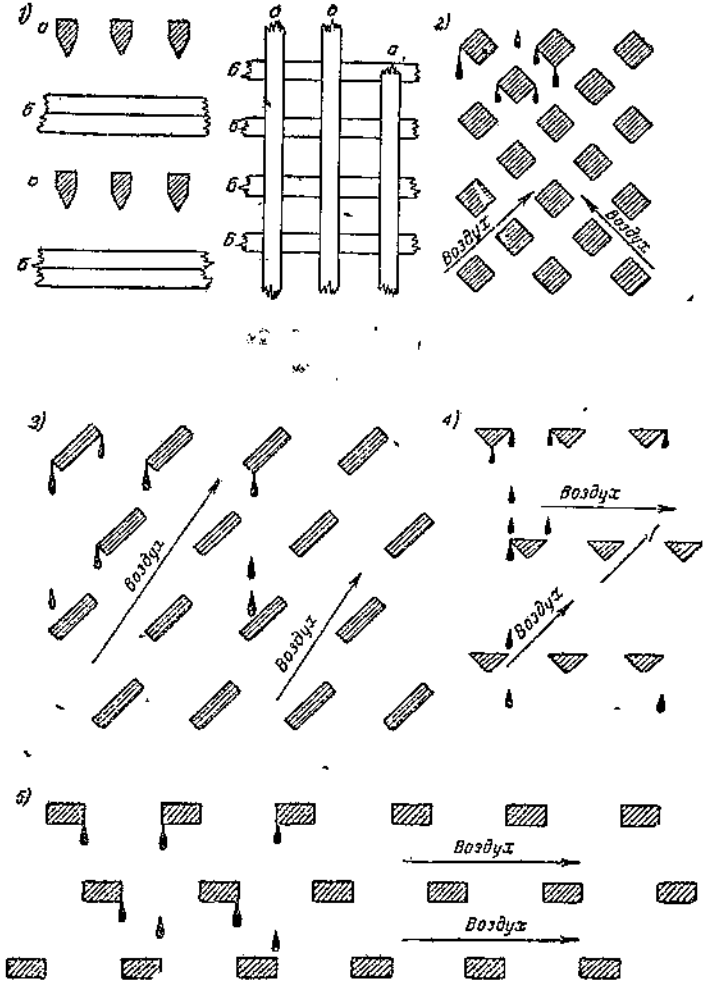


Рис. 587

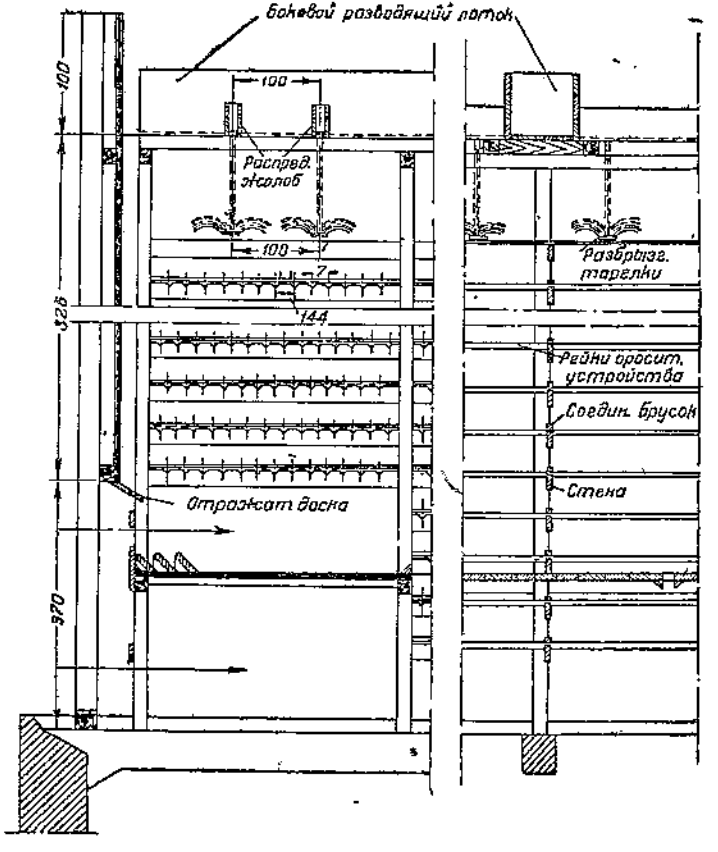


Рис. 588

больших площадях оросителей рекомендуется принимать специальные меры к улучшению распределения в них воздуха [1]. Между решетником и наружной обшивкой оросителя оставляется свободный промежуток шириной от 0,4 *м* при малых градирнях до 0,8 *м* — при больших.

Высота оросителя $H_{ср}$ берется на практике равной 4,0—6,0 *м* и несколько больше. Расчет оросителей до сего времени исчерпывающе не разработан, хотя он имеет большое значение как с точки зрения первоначальных затрат на постройку, так и эксплоатационных расходов на энергию для насосов, поднимающих теплую воду.

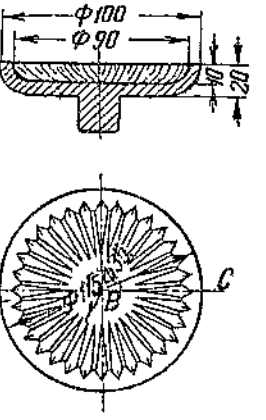


Рис. 589

Для правильной работы градирни имеет существенное значение, равномерность распределения теплой воды по площади оросителя. Это делается системой деревянных желобов с насадками и разбрызгивающих розеток (рис. 588) диаметром около 100 *мм*. Насадки выполняются из пластмассы, стекла, фарфора диаметром $d_0 = 15 \div 25$ *мм*, длиной $l_0 = 3d_0$, причем обычно устанавливают по одной штуке на 0,7—1,0 $м^2$ площади оросителя.

Розетки располагают на 0,6—0,7 *м* ниже выходного отверстия насадок; они делаются также из пластмассы, стекла, фарфора. Один из рациональных типов розетки показан на рис. 589; розетка — чашечная с радиальными бортовыми желобками [2].

Для равномерного распределения теплой воды по площади оросителя имеет значение способ ее подвода. В больших градирнях воду часто подают при помощи стояка, который проходит через центр оросителя, а в малых градирнях с площадью меньше 300 $м^2$ — боковым стояком (рис. 590 и 591).

Б. Башенные пленочные градирни

Если ороситель устроить не из горизонтальных реек, а из вертикальных щитов, установленных на очень малых взаимных расстояниях b (рис. 592 и 592а), то охлаждаемая вода при правильном устройстве водораспределителя будет стекать по поверхностям щитов тончайшими слоями, что весьма благоприятно с точки зрения охладительного эффекта градирни. Башенные градирни с оросителями такого типа носят название пленочных.

Обозначим через h — высоту щитов в *м*; b — расстояния между щитами в *м* (в свету); δ — толщину и L — ширину щитов в *м*; n — число рядов щитов в оросителе.

Произведение

$$2(n-1)Lh = F_n \qquad (1)$$

дает суммарную поверхность охлаждения воды F_n, а произведение

$$(n-1)Lb = F_в \qquad (2)$$

дает воздушное сечение оросителя $F_в$.

---

[1] Такие меры сводятся в основном к устройствам, которые улавливают падающие из оросителя капли воды и тем освобождают проход для воздуха к центру оросителя.

[2] Описанная система распределения воды лотками вызывает стеснение оросителя, создавая сопротивления движению воды; кроме того, распределение воды по площади оросителя оказывается недостаточно равномерным. Поэтому за границей делают иногда распределение воды трубопроводами (асбестоцементными, стальными) с разбрызгивающими соплами.

Из выражений (1) и (2) получаем:

$$h = \frac{b}{2} \cdot \frac{F_n}{F_в}. \qquad (3)$$

Если учесть коэфициентом α площадь, занимаемую стойками и другими строительными элементами ориентировочно $\alpha = 1{,}10 \div 1{,}15$,

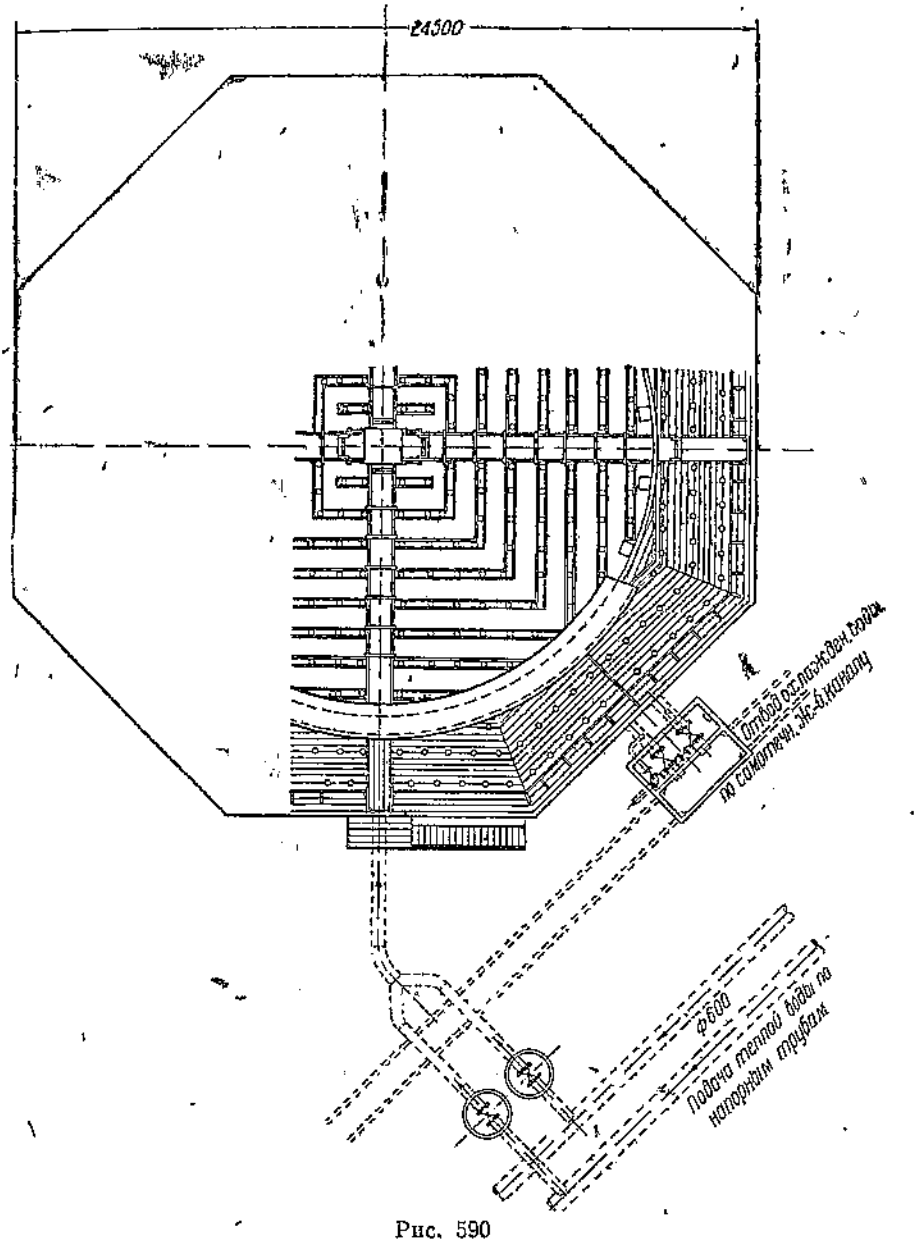


Рис. 590

то общая площадь оросителя $F_{п.о}$ может быть выражена через $F_{п.о} = \alpha F_в$.

Величину

$$\frac{G_w h}{F_n} = q_{ш},$$

где G_w — часовое количество воды в *кг*, подлежащее охлаждению

называют удельной гидравлической нагрузкой (в *кг/м* в час), отнесенной к одной стороне щитов. Ее обычно принимают не ниже 130—150 *кг/м* в час.

Щиты устраивают деревянными дощатыми[1] высотой до 6 *м* с установкой их на взаимных расстояниях *b*, величина которых прини-

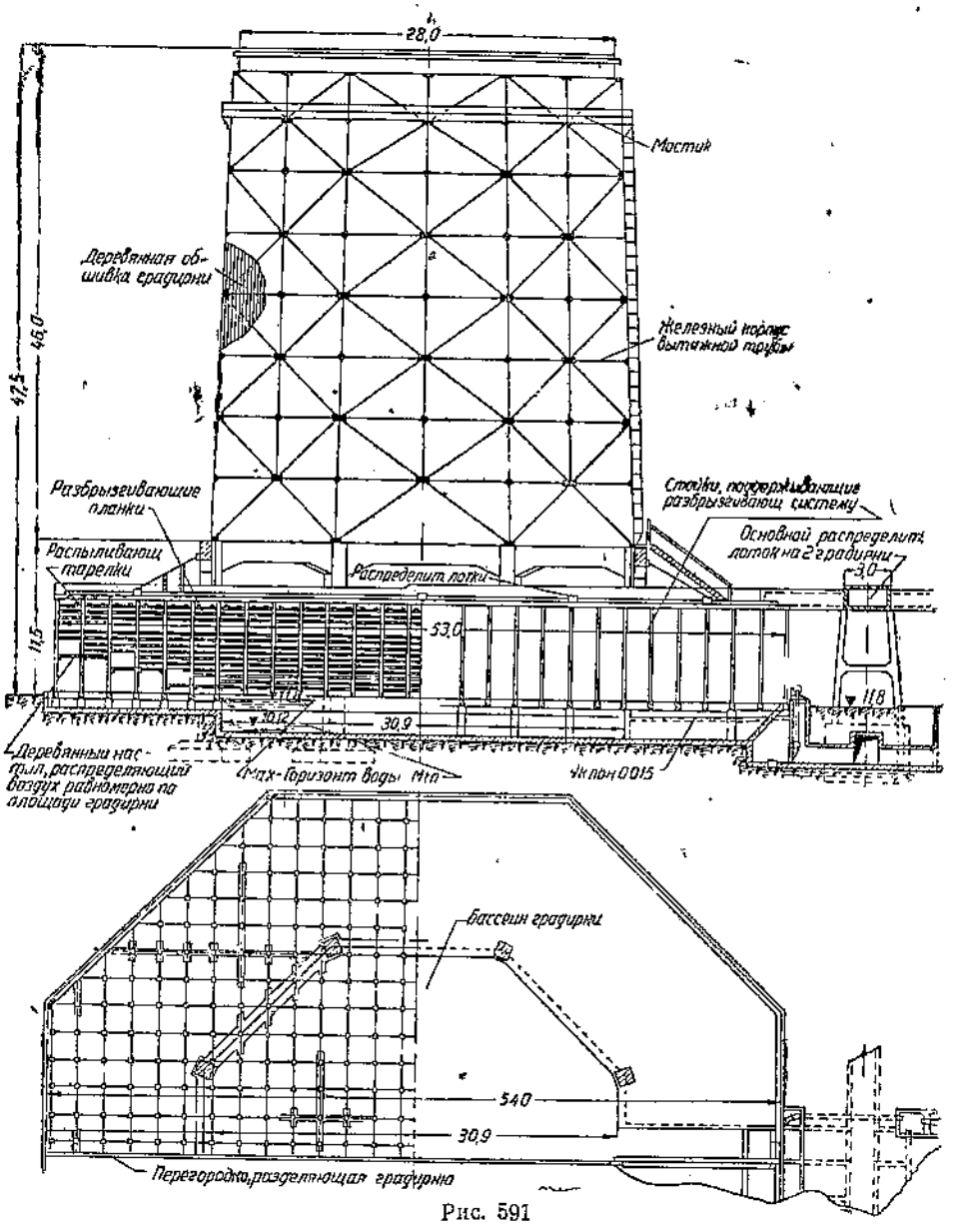


Рис. 591

мается от 30 до 80 *мм* в зависимости от температурного перепада; чем последний меньше, тем меньше берется и *b*.

Основными положениями рекомендуется применять щиты толщиной 10—12 *см* на взаимных расстояниях 30—50 *мм* при перепадах

[1] Из других возможных материалов для щитов следует указать на асбестоцемент (имеющий небольшую толщину), дающий равномерное распределение пленки; однако, он страдает существенным недостатком — хрупкостью и он дорог.

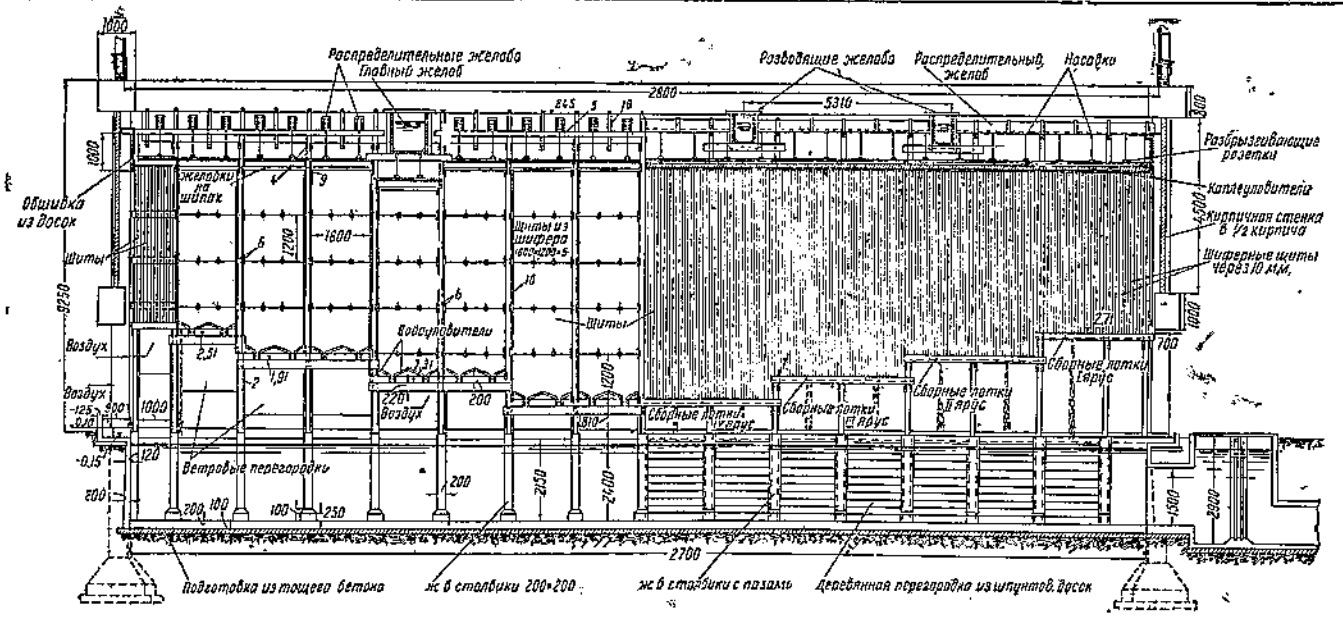


Рис. 592

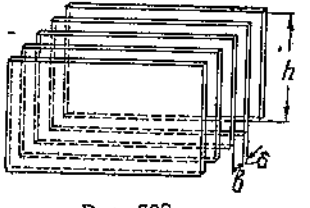


Рис. 592а

температур воды ниже 15° и 70—80 *мм* при более высоких перепадах, при этом предлагается собирать щиты из горизонтальных досок шириной не более 100 *мм*. Для уменьшения сопротивления движению воздуха щиты рекомендуется снабжать в нижней части зубцами (рис. 593).

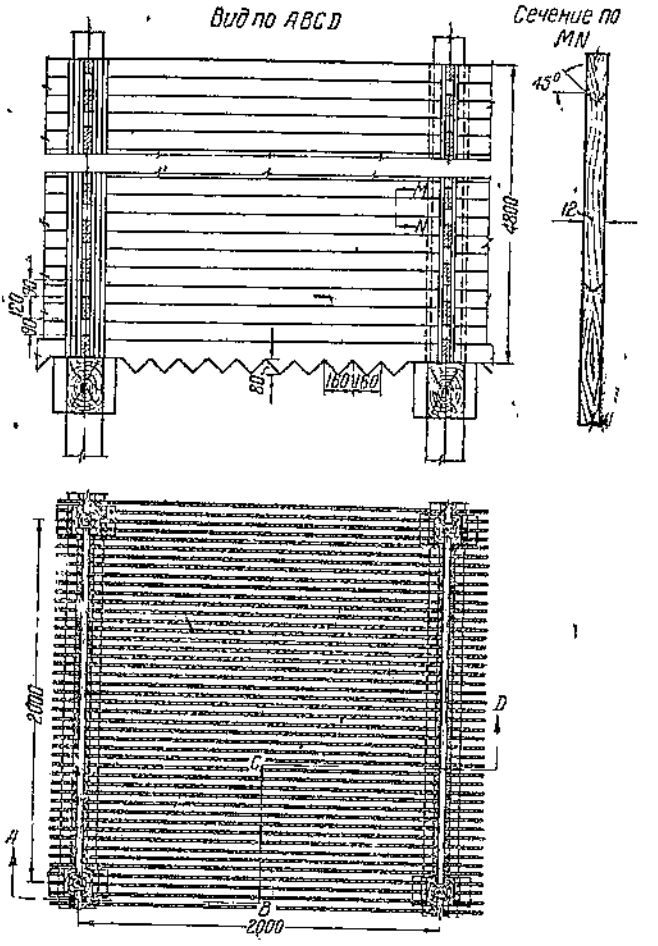


Рис. 593

Водораспределительное устройство выполняется в основном так же, как и в башенных градирнях капельного типа.

В. Вытяжные башни деревянных градирен

Вытяжные башни как малых, так и больших градирен выполняются часто в виде деревянного — из стоек и раскосов — каркаса[1] с деревянной обшивкой. Нижняя опорная часть каркаса в большой градирне проходит через ороситель, а в малой градирне соприкасается с ним. Обшивка состоит из одного ряда досок, пришиваемых к каркасу с внутренней стороны, причем стенки башни имеют уклон 1/30. Для обеспечения достаточной плотности обшивка выполняется из вертикальных досок с удлиненным шпунтом. В целях уменьшения коробб-

[1] Конструкция башни без каркаса в форме цилиндрической оболочки (из двух рядов досок, наклоненных в разные стороны под углом 45° к горизонту), получившая было в СССР некоторое распространение, в настоящее время не применяется, несмотря на экономичность, так как не допускает ремонта путем частичной смены загнивших досок.

ления обшивки доски применяют шириной не более 15 *см*. Так как нижняя часть каркаса может подвергаться гниению, иногда она делается железобетонной из отдельных колонн, связанных поверху кольцом, на которое и опираются деревянные стойки каркаса башни.

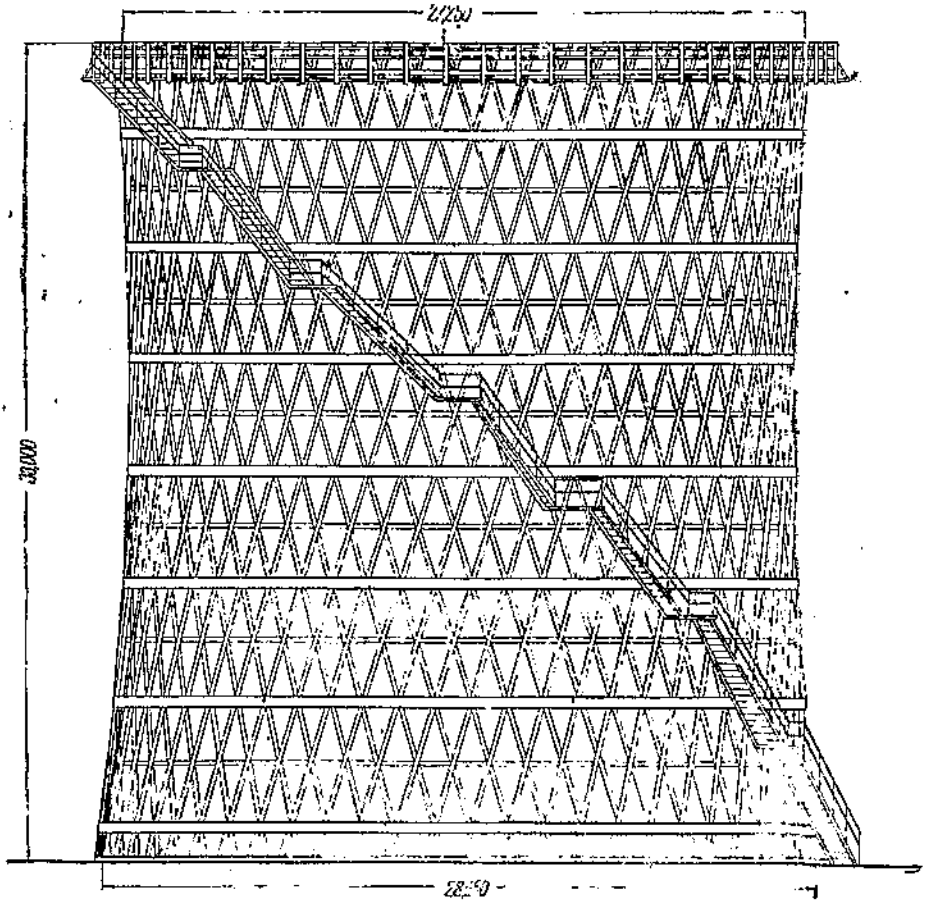


Рис. 594

Каркас устраивают иногда гиперболоидальным — из большого числа прямых деревянных элементов, располагаемых по образующим гиперболоида вращения (рис. 594)[1].

Для осмотра и ремонта деревянной обшивки башни устраивают до верха последней наружную служебную лестницу. На башне устанавливают громоотвод.

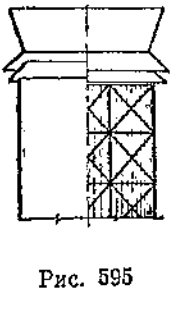


Рис. 595

Над вытяжной башней устраивают дефлектор (рис. 595) с целью: 1) предупредить возникновение внутри башни при сильных ветрах токов воздуха, направленных вниз и нарушающих нормальное движение воздуха через градирню; 2) использовать ветер для усиления тяги; 3) уменьшить конденсацию пара, выходящего из башни за ее пределами[2].

[1] По типу гиперболоидальных металлических водонапорных башен системы В. Г. Шухова.

[2] При больших размерах градирни уходящий из ее башни пар не может быстро поглощаться окружающим воздухом и частично конденсируется, оседая каплями на прилегающем участке; при поступлении через дефлектор свежего воздуха в башню в последней происходит частичное выпадение влаги.

Деревянные градирни опасны в пожарном отношении и сравнительно быстро загнивают ввиду весьма неблагоприятных условий для службы дерева. Для защиты последнего от гниения применяют антисептики — масляные (карболинеум, креозот) и минеральные, что хуже. За границей пользуются специальными средствами, например, в США — пентахлорфенолятом натрия.

Стремление удлинить срок службы башен привело к применению металлических каркасов с деревянной обшивкой и к железобетонным градирням. Металлический каркас башни представляет собой пространственную ферму в виде усеченной пирамиды на железобетонных колоннах, располагаемых по углам градирни между центральной и периферийной частями оросителя. Каркас обшивается шпунтованными досками изнутри градирни и таким образом металлические части находятся снаружи, что очень важно для производства их покраски.

Такие градирни имеются и в СССР, и за границей. К сожалению, отсутствуют достаточно полные сведения о службе металлических частей.

Если исходить из данных основных положений, то размер амортизационных отчислений и капитального ремонта в процентах от первоначальной стоимости можно принимать для градирен с деревянным каркасом в 9,5%, а с металлическим каркасом в 8%.

Железобетонные градирни получили распространение в странах, бедных лесом (Англия, Южная Африка, Голландия), при производительности до 20 000 *м³/час* и даже больше[1]. Они имеют обычно гиперболоидальную форму (рис. 596), которая не только целесообразна с конструктивной точки зрения, но и позволяет, как указывают отдельные специалисты, осуществлять более правильное распределение воздуха в оросителе, обеспечивая лучшее движение его по отношению к падающим каплям охлаждаемой воды. Форма эта, однако, неудобна с точки зрения условий производства работ.

1. Потери воды при охлаждении ее в башенных градирнях

Эти потери слагаются, как и в брызгальных бассейнах, из потерь на испарение, продувку и унос каплями.

Размеры потерь от испарения и на продувку определяются по тем же данным, которые приведены для брызгальных бассейнов; потеря на унос каплями происходит из-за выдувания их ветрами и в значительной степени зависит от размеров градирен, а также тщательности эксплоатации последних. Если, при сильных ветрах не закрывать окон, через которые поступает наружный воздух в ороситель, и если при этом обшивка оросителя не плотная, то унос воды из градирни может достигать 1,5% от количества охлаждаемой воды[2]. При условии же надлежащей эксплоатации потерю воды на унос каплями можно принимать: для градирен с площадью оросителя менее 150 *м²* в 0,5—1%, для градирен с площадью оросителя более 150 *м²* — в 0,5%.

Д. Выбор места расположения башенной градирни

Ввиду того, что 1) ветры не оказывают существенного влияния для охладительного эффекта градирен, 2) градирни не дают тумана у поверхности земли, 3) размеры градирен в плане сравнительно невелики, при выборе мест расположения их не возникает серьезных затруднений. Расстояние градирен от соседних сооружений допускается сравнительно небольшим — порядка 20 *м*, а обычно опреде-

[1] При диаметрах до 30 *м* и более.

[2] При конструировании градирен предусматривают нередко специальные устройства для предотвращения большого выноса капель наружу — особые «отбойные» козырьки по периферии оросителя, ветровые перегородки в нем и др.

ляется пожарными требованиями. Исключение составляют открытые электрические подстанции, от которых башенные градирни значительной производительности приходится относить не менее чем на 70—80 *м*; при этом градирни располагают так, чтобы господствующие в зимнее время ветры отводили испарения градирен в стороны, противоположные подстанциям.

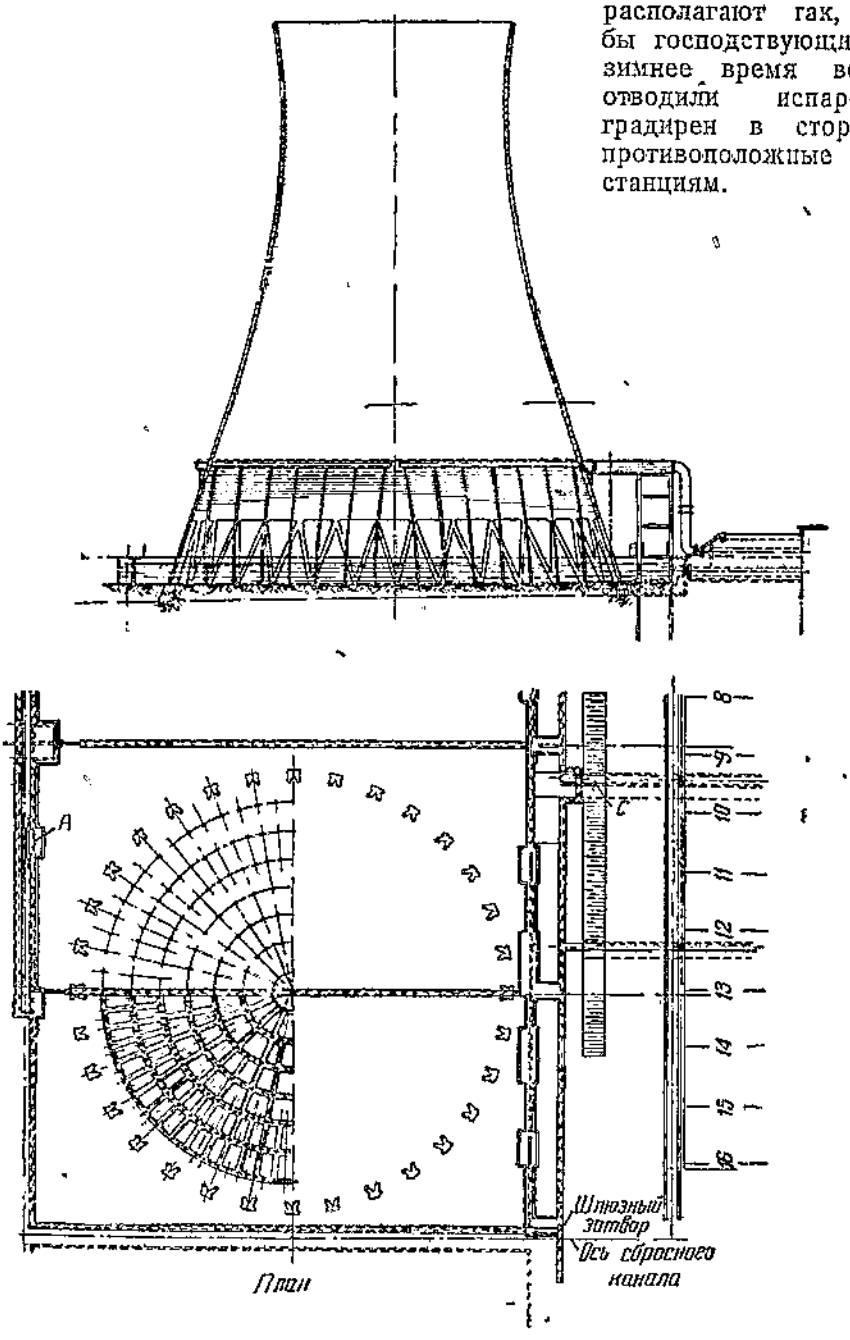


Рис. 596

При выборе мест расположения башенных градирен необходимо, кроме того, учитывать возможность рационального подвода теплой воды, отвода охлажденной воды и опорожнения бассейнов градирен, необходимость размещения в будущем новых цехов или расширения существующих, условия залегания грунтовых вод, требования МПВО.

Е. Достоинства и недостатки башенных градирен

К числу достоинств башенных градирен относятся: а) независимость охладительного эффекта от ветра и возможность в связи с этим установки градирен на застроенной территории; б) меньшая площадь сравнительно с брызгальными бассейнами и возможность более компактного расположения при большей производительности по сравнению с открытыми градирнями; в) отвод испарений на значительной высоте; г) возможность предупреждать большой унос воды каплями.

К недостаткам относятся: а) более высокая стоимость по сравнению с открытыми градирнями, а для средних условий и с брызгальными бассейнами; б) сравнительно сложная эксплоатация, связанная с обледенением градирен в зимнее время, с цветением их.

Обледенение может вызвать механическое повреждение градирни, прекращение притока воздуха в оросители. Размораживание градирен представляет большие трудности. Для предупреждения обледенения прибегают или к переходу зимой на работу только центральной частью оросителя при полном выключении периферийной его части, или, наоборот, к работе периферийной частью с созданием водяной завесы путем увеличения плотности дождя. Водораспределительные устройства должны допускать возможность отключения как центральной, так и периферийной частей оросителя.

Цветение вследствие благоприятных температурных условий может вызывать появление в градирне столь значительных отложений, что градирня зарастает иногда за очень короткий срок; тогда приходится выключать ее из работы и производить очистку. Надлежащее проведение очистки представляет не малые трудности. Для борьбы с цветением приходится прибегать, как и в водохранилищах, к введению в охлаждаемую воду хлора или, что хуже, медного купороса; дозировка устанавливается опытным путем в зависимости от рода цветения, степени зараженности воды и прочих условий. За границей (США) применяются, кроме того, специальные препараты, например, пентахлорфенолят натрия. Опыты применения его с концентрацией 10 *мг/л* дали положительные результаты.

Ж. Градирни с искусственной вентиляцией

Принудительная циркуляция воздуха в градирне производится при помощи вентиляторов осевого типа и в более редких случаях — центробежных вентиляторов. В последнем случае создаются лучшие условия для эксплоатации вентиляторов и их моторов: обеспечивается бо́льшая доступность для осмотра и ремонта, размещение их вне зоны влажного воздуха.

Градирни с искусственной вентиляцией имеют наглухо закрытые оросители — с обшивкой из деревянных шпунтованных досок, реже из металлических листов или железобетона. Высота обшивки назначается с учетом отвода испарений над близрасположенными сооружениями и зданиями; высота эта принимается не более 15 *м*.

Решетник оросителя того же типа, что и в башенных градирнях, с брусками лучшей по обтекаемости формы.

При больших количествах охлаждаемой воды градирня разбивается по длине на ряд небольших секций, что целесообразно с точки зрения как размеров обслуживающих вентиляторов, так и равномерности распределения воздуха в оросителе.

Рассматриваемым градирням присущи следующие достоинства: а) возможность получать наибольший и устойчивый охладительный эффект; б) меньшая площадь по сравнению с охладителями других типов; в) возможность располагать их на застроенной площади и даже внутри помещений; г) возможность доводить унос капель воды до минимума; в расчетах его принимают 0,25—0,5% от количества охлаждаемой воды.

Недостатки градирен: а) высокие эксплоатационные затраты ввиду постоянного расхода энергии для вентиляторов; б) шум, создаваемый вентиляторами, что весьма неудобно для близрасположенных служебных и производственных помещений.

3. Открытые градирни

Открытая градирня представляет собой четырехугольник (рис. 597) с вертикальными стенками из деревянного или металлического каркаса с жалюзи различных конструкций, предназначенными для уменьшения выноса капель воды из градирни.

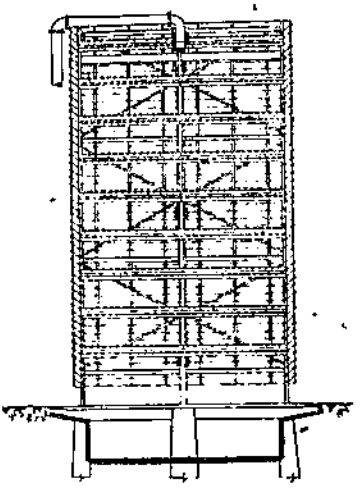


Рис. 597

Открытые градирни бывают двух типов: а) капельные — с оросительными устройствами в виде решетника из реек прямоугольного или, что реже, треугольного сечения; б) брызгальные — в виде малых брызгальных бассейнов, окруженных со всех сторон жалюзи и имеющих высоко поднятые над дном сопла.

Рис. 598

Открытая капельная градирня. Рейки оросителя капельной градирни собираются заблаговременно (для облегчения и ускорения монтажа) в щиты определенных размеров. Для лучшего распределения воды и теплоотдачи поверхности решеток несколько выгибаются (рис. 598). Щиты устанавливаются ярусами; высота последних 0,7—1,0 *м*, а число их обычно равно 10—12, но в отдельных крупных градирнях бывает значительно бо́льшим.

Градирня получает высоту 6—14 *м* и имеет вид больших четырехугольных воронок, поставленных одна над другой. Нередко через каждые 1—2 яруса при укладке щитов изменяют направление реек на взаимно-перпендикулярное; этим вызывается перераспределение движения охлаждаемой воды и увеличивается продолжительность соприкосновения ее с воздухом. Распределение воды по площади оросителя делается по существу так же, как и в башенных градирнях капельного типа.

Охладительный эффект действия открытой градирни обеспечивается током воздуха в горизонтальном направлении между щитами оросителя. Во избежание увеличения сопротивлений этому движению ширина оросителя принимается не больше 4,0 *м* по примеру практики США. Это заставляет при больших количествах охлаждаемой воды развивать площадь оросителя за счет длины с расположением длинной стороны градирни нормально к направлению господствующих летом ветров.

Большое увеличение длины, однако, нерационально, так как оно загрудняет 1) размещение градирни на территории промпредприятия в условиях хорошего доступа воздуха и 2) равномерность распределения воды. Поэтому-то открытые градирни применяют пока для охлаждения не очень больших количеств воды, примерно, до 500—700 *м*³/час [1].

[1] В США встречаются открытые градирни и бо́льших производительностей — до нескольких тысяч кубометров в час; такие градирни разделяются на секции, из которых каждая имеет отдельный подвод теплой воды и самостоятельную систему ее распределения; отдельные секции могут выключаться из работы (для ремонта, осмотра и пр.) без прекращения работы всей градирни.

Лучших условий доступа воздуха в ороситель достигают при помощи жалюзи специальных конструкций. Последние, кроме того, уменьшают потери воды из градирни уносом ее каплями при ветрах. Эти потери на унос каплями принимают в процентах от количества охлаждаемой воды: для открытых градирен с обычными жалюзи — 1—2—3%, для открытых градирен со специальными жалюзи — 0,5—1%.

Открытая брызгальная градирня. В открытых брызгальных градирнях применяют сопла как ударного типа, так и центробежного с возвышением их над дном от 1,5 до 4 *м*. Выходные отверстия сопел направляют как вверх, так и вниз. Предпочтительнее последнее расположение как позволяющее уменьшать высоту жалюзи и избегать потерь воды за счет ее выбрасывания из градирни при случайных увеличениях напора подводимой теплой воды. В очень малых градирнях помещают один только пучок сопел, в больших — несколько, с приданием градирне формы вытянутого прямоугольника, длинная сторона которого располагается нормально к направлению господствующих летом ветров. При этом расстояние между рядами сопел принимают в 0,8—1,0 *м*, а удаление крайних сопел от жалюзи в пределах 0,5—1,0 *м*, причем бо́льшая цифра относится к соплам с выходными отверстиями, обращенными кверху, и наоборот.

Достоинства и недостатки открытых градирен. К числу достоинств градирен этого типа следует отнести: а) относительную простоту конструкций, возможность заготовки многих элементов в мастерских с последующей сборкой методами скоростного строительства; б) сравнительно малую стоимость, особенно градирен брызгального типа; в) более высокий (в среднем) охладительный эффект по сравнению с башенными градирнями того же типа и брызгальными бассейнами.

Недостатки брызгальных градирен: а) зависимость охладительного эффекта от силы и направления ветра; б) ограничение ширины градирни; в) образование зимой туманов в районе ее расположения; г) больший унос воды каплями по сравнению с башенными градирнями и градирнями с искусственной вентиляцией.

Существенным недостатком открытых градирен является опасность значительного обмерзания их в зимнее время. Для борьбы с этим открытую градирню снабжают вторым дополнительным водораспределительным устройством, размещаемым над четвертым-пятым ярусом (считая снизу) оросителя и изготовляемым из перфорированных труб. Отверстия последних принимают 15—20 *мм* и располагают их в горизонтальной диаметральной плоскости труб на взаимных расстояниях 200—300 *мм*. В зимнее время основное водораспределительное устройство выключается из действия, а работает только дополнительное; в летнее же время — наоборот.

§ 152. Охлаждающие пруды

Если в хвостовую часть пруда, образованного при помощи плотины (рис. 599), сбросить отработанную теплую воду, то она, распределяясь по поверхности пруда и двигаясь к водозаборному сооружению, охлаждается в основном за счет 1) испарения с зеркала пруда и 2) теплоотдачи воздуху конвекцией[1].

Вода распределяется, однако, не по всей площади зеркала, а движется постепенно расширяющейся полосой, так называемым циркуляционным потоком от места сброса к плотине, в относительной близости к которой устраивается водозабор; при этом она движется с образованием водоворотов и мертвых участков. Циркуляционный поток обладает большей охлаждающей способностью по сравнению

[1] Небольшое значение, на практике не учитываемое, имеет солнечная радиация.

с водоворотами, поэтому охлаждающую способность пруда характеризуют не всей площадью $\Omega_з$ зеркала, а величиной активной зоны $\Omega_а$, под которой понимают площадь такого фиктивного пруда, для которого начальная у места сброса и конечная у водозабора температура воды — те же, что и для рассматриваемого пруда, но в котором все струи потока параллельны, а следовательно, отсутствуют водовороты.

Рис. 599

Величину активной зоны, отнесенную к 1 *м*³/*сутки* охлаждаемой воды, называют удельной площадью $\omega_у$ активной зоны, а отношение $\frac{\Omega_а}{\Omega_з}$ — коэфициентом использования пруда. Чем больше численное значение этого коэфициента, тем рациональнее пруд в термическом отношении, и наоборот.

Для определения величины активной зоны пользуются специальными графоаналитическими методами, которые, однако, разработаны еще недостаточно. Более правильное решение может дать метод моделирования изучаемого пруда и течений в нем.

В ориентировочных расчетах принимают, что отдача тепла с 1 *м*² площади пруда может составлять лишь 2 000—1 000 *ккал/час*, поэтому размеры пруда в плане получаются значительными, примерно в 20—50 раз больше по сравнению с брызгальными бассейнами и в 50—150 раз больше площади градирен.

Охладительный эффект пруда может быть существенно увеличен за счет удлинения пути транзитного потока, уничтожения водоворотов и т. п. Для этой цели применяют специальные устройства в виде струераспределительных перегородок или струенаправляющих дамб — земляных, из каменной наброски, из шунтовых перемычек и т. п.

Большое значение имеет и форма пруда; влияние ее на численную величину коэфициента использования не малое. Наиболее рациональная форма пруда — продолговатая с постепенным расширением от водосброса к водозабору. При неправильной форме водовороты могут занимать значительные площади.

Для обеспечения охладительного эффекта важно иметь примерно одинаковую глубину пруда особенно в пределах циркуляции. В термическом отношении признаются достаточными глубины 4,0—3,0 и даже 2,0 *м*, благоприятные для устройства и эксплоатации струенаправляющих дамб и перегородок. Однако эти глубины недостаточны для предупреждения цветения и зарастания пруда, а вместе с тем опасность этих явлений здесь увеличивается ввиду благоприятных температурных условий. Поэтому при устройстве охлаждающих прудов особенно важна соответствующая подготовка чаши будущего пруда.

Для усиления эффекта действия пруда прибегают иногда к установке над ним или по его берегу сопел для разбрызгивания некоторого количества теплой воды; при этом признается рациональным размещать сопла в нижней части пруда и таким образом осуществлять в районе водозабора смешение потоков воды, из которых один охлажден соплами, а другой собственно прудом.

Охлаждающему пруду присущи большие недостатки, из которых отметим следующие: 1) большая площадь, требующаяся для создания необходимой поверхности охлаждения; 2) большая длина, а нередко и значительная стоимость канала, отводящего теплую воду с террито-

рии промпредприятия[1]; 3) большая зависимость охладительного эффекта от ветра; 4) сравнительно высокие температуры охлажденной воды в летнее время; 5) сложность эксплоатации с точки зрения борьбы с цветением прудовой воды, ее минерализацией, с зарастанием пруда растительностью и пр.

§ 153. Выбор типа водоохлаждающих устройств

При выборе типа водоохлаждающих устройств приходится учитывать следующие условия: 1) требования технологических процессов промпредприятия к температуре подаваемой воды, а следовательно, высоту зоны охлаждения и устойчивость охладительного эффекта; 2) производительность водоохлаждающего устройства тепловую и гидравлическую; 3) возможность рационального размещения водоохлаждающих устройств на территории промпредприятия; 4) метеорологические факторы (состояние воздуха, ветры, зимние условия); 5) геологические условия, уровень грунтовых вод; 6) наличие местных строительных материалов; 7) объемы строительных работ, сроки строительства; 8) надежность и простоту эксплоатации; 9) специальные требования — МПВО, санитарные и др.

В соответствии с достоинствами и недостатками, которые присущи различным типам водоохлаждающих устройств и отмечены ранее, можно притти к следующим выводам.

Брызгальные бассейны целесообразно применять: а) при наличии достаточно большой и открытой для доступа воздуха площадки; б) при благоприятных гидрогеологических условиях. Кроме того, применение бассейнов целесообразно при количествах охлаждаемой воды более 500 *м³/час*; при меньших же производительностях бассейны следует применять лишь в случаях необходимости создания большого запаса воды.

Открытые градирни рационально устраивать при производительности до 500—700 *м³/час* и при возможности допускать кратковременное понижение охладительного эффекта в периоды штилей.

Башенные градирни капельного и пленочного типа применяют разных производительностей в случаях: а) необходимости обеспечить большую устойчивость охладительного эффекта независимо от ветра; б) благоприятных температурных условий (температуры охлажденной воды на 7—10° выше температуры влажного термометра, температурного перепада воды выше 5—6°); в) необходимости уменьшать размеры водоохлаждающих устройств в плане; г) при размещении водоохлаждающих устройств на участке, окруженном строениями, которые препятствуют доступу воздуха.

При ограниченной площадке предпочитают башенные градирни пленочного типа.

Градирни с искусственной вентиляцией могут применяться лишь при повышенных требованиях в отношении охладительного эффекта и его устойчивости, а также компактности охлаждающего устройства как по площади, так и по высоте.

Охлаждающие пруды ввиду большой стоимости плотин и других работ, связанных с подготовкой чаш прудов, могут применяться при возможности использования водохранилищ, устраиваемых для целей водоснабжения промпредприятий; да и то, если территории последних находятся недалеко от водохранилищ и немного возвышаются над уровнем воды в них; при этом должно быть соблюдено условие, чтобы форма водохранилищ, их глубины и пр. достаточно хорошо удовлетворяли термическим требованиям.

[1] По устройству своему такие каналы подобны открытым каналам, подводящим воду из источника водоснабжения.

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ

ВРЕМЕННОЕ И ПОЛЕВОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ

Глава XXII

ВРЕМЕННОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ НОВОСТРОЕК

§ 154. Водопотребление строительных площадок

Водоснабжение строительной площадки промышленного предприятия должно обеспечивать подачу воды для производственно-строительных целей, для хозяйственно-питьевых нужд рабочих и для противопожарных целей. Если поблизости к площадке имеется временный поселок для рабочих, то должно быть обеспечено и его хозяйственно-питьевое и противопожарное водоснабжение.

Проект водоснабжения должен быть увязан со стройгенпланом площадки и предусматривать простые, быстро осуществимые сооружения и устройства. Вместе с тем должна учитываться возможность максимального использования последних в системе постоянного водоснабжения.

Расходы воды на строительное производство. Из них отметим как основные:

1) Расходы для приготовления и укладки бетона — на 1 $м^3$ его в деле около 2,0—3,0 $м^3$; в том числе:

для промывки 1 $м^3$ гравия или щебня ручным способом 0,5—1,25 $м^3$; машинным способом 0,3—0,5 $м^3$; для промывки 1 $м^3$ песка 1,0—1,25 $м^3$;

для приготовления 1 $м^3$ бетона, в зависимости от его консистенции 0,2—0,3 $м^3$; для поливки уложенного бетона на 1 $м^3$ его (с учетом расхода воды на поливку опалубки в зависимости от местных климатических условий, соотношения между кубатурой бетона в конструкции и поверхностью его) — 0,2—0,6 $м^3$.

Так как значительная часть воды требуется для промывки инертных, то в соответствующих случаях при больших масштабах работ может оказаться целесообразным применение оборота этой воды с устройством простейших отстойников; добавка свежей воды требуется при этом в количестве порядка 20—25%.

2) Расходы для кирпичной кладки — на 1 $м^3$ ее, считая приготовление раствора, около 1,0—1,2 $м^3$.

3) Расходы для бутовой кладки 200—250 $л$ на 1 $м^3$ объема ее.

4) Расходы для приготовления цементного раствора (отдельно) на 1 $м^3$ — 200—300 $л$.

5) Расходы для приготовления 1 $м^3$ известкового раствора — 1 200—1 400 $л$, включая расход воды на гашение извести, отдельно же для гашения 1 $м^3$ извести — до 2 500—3 000 $л$.

6) Расходы для строительных механизмов — на паровые котлы или двигатели внутреннего сгорания:

а) для паровых экскаваторов; 1,0—3,0 *м*³ на 100 *м*³ вынутого грунта или 0,5—1,75 *м*³ на один экскаватор за час его работы в зависимости от рода экскаватора, емкости ковша, категории грунта;

б) для экскаваторов с двигателями внутреннего сгорания порядка 150—250 *л/сутки*;

в) для паровых грузоподъемных кранов, копров и др. — в соответствии с поверхностью нагрева котлов.

7) Расходы воды для временных силовых станций определяются по данным, приведенным в § 148, в соответствии с оборудованием станций, наличием или отсутствием оборота охлаждающей воды, качеством ее и пр.

8) Расходы воды для внутрипостроечного транспорта в зависимости от рода тяги (паровозной, электровозной, автомобильной, тракторной и даже гужевой):

а) на питание одного паровоза широкой колеи в среднем 20 *м*³/*сутки* при наполнении тендера до 2—3 раз за сутки; для питания паровоза узкой колеи от 4 до 6 *м*³/*сутки;* кроме того, на каждое стойло паровозного депо до 5 *м*³/*сутки,* не считая расхода воды на промывку паровозных котлов [1];

б) для электровоза — 25—50 *л/сутки*;

в) для автомобильного и гужевого транспорта расход принимается в соответствии с данными § 156.

Расходы воды для хозяйственно-питьевых целей. Каких-либо регламентированных норм хозяйственно-питьевых расходов воды специально для рабочих на строительных площадках не имеется [2].

Обыкновенно на строительной площадке принимают на 1 рабочего в смену 25—10 *л* воды и даже несколько меньше при часовом коэфициенте неравномерности, равном 2—3. На одного рабочего, пользующегося душем, принимается 25—30 *л*.

Кроме того, если рабочие со своими семьями живут в поселке при площадке, то на каждого из живущих принимается 20—35 *л/сутки* с дополнительным учетом расходов воды в банях, прачечных, амбулаториях и пр. согласно данным § 2.

Расходы воды для противопожарных целей. Расходы воды для тушения пожаров на территории строительной площадки принимаются в соответствии с нормами, установленными для промышленных предприятий.

Кроме норм, рассмотренных в § 2, возможно учитывать нормы, данные в указаниях для проектирования и устройства водоснабжений в условиях военного времени и приведенные в табл. 49.

Что касается категорий зданий, указанных в табл. 49, то:

а) к I категории относят здания, в которых не содержится горючего сырья или фабрикатов (электростанции, цехи механические, кузнечные, прокатные, литейные и т. п.);

б) ко II категории — здания, где имеется горючее сырье или фабрикаты (цехи деревообделочные, бумажные, текстильные и т. п.);

в) к III категории — здания, где находятся легко воспламеняющиеся вещества или материалы (цехи обработки бензина, спирта, волокнистых веществ, зажигательных смесей и т. п.).

---

[1] Промывка паровоза делается периодически, раза 2 в месяц и реже в зависимости от качества воды, идущей для питания паровозных котлов; чем больше жесткость воды, тем чаще делается промывка, и наоборот.

[2] При назначении расчетных расходов можно исходить из норм, приведенных в § 2, а также из норм, данных в указаниях по проектированию и устройству водоснабжений в условиях военного времени. Согласно этим нормам на 1 рабочего холодных цехов в смену принимается: при наличии промывных уборных—12 *л*, при отсутствии их—6 *л*.

Таблица 49

Характеристика конструкций зданий	Категории	Противопожарный расход воды в *л/сек*					
		Объем здания в $м^3$					
		до 5 000	от 6 100 до 10 000	от 11 000 до 25 000	от 26 000 до 50 000	от 51 000 до 100 000	свыше 100 000
Огнестойкие и полуогнестойкие	I	10	10	10	15	20	25
	II	10	10	15	20	25	30
	III	10	15	20	25	30	35
Полусгораемые	I	10	15	20	25	30	35
	II	10	15	25	30	35	40
	III	15	20	30	35	40	—
Сгораемые	I	10	15	25	25	—	—
	II	15	20	30	35	—	—
	III	20	25	35	40	—	—

Примечание. При наличии в зданиях внутренних пожарных кранов указанные расчетные расходы увеличиваются на 5 *л/сек*.

Расчетное число одновременных пожаров принимается при этом в зависимости от размеров территории промышленного предприятия: при площади ее до 100 *га* — один пожар, а при большей — два пожара.

Необходимо иметь в виду, что огнеопасность некоторых сооружений в процессе их постройки может быть больше; нежели при их эксплоатации вследствие наличия при производстве строительных работ значительного количества горючих материалов — лесных (опалубка, подмости и т. п.) и др.

Пожарные водоемы. Расходы воды, требующиеся для противопожарных целей, часто значительно превышают производственно-строительные и хозяйственно-питьевые расходы. Поэтому устройство временного водоснабжения строительной площадки может усложниться и значительно удорожиться, если противопожарные количества воды будут подаваться непосредственно из гидрантов разводящей сети. Во избежание этого требующиеся противопожарные количества воды частью, а иногда даже целиком, могут получаться из пожарных водоемов, размещаемых на территории строительной площадки, как это иногда делается и при водоснабжении населенных мест.

Вместимость и число водоемов зависят от расположения строящихся сооружений и зданий, огнеопасности их, типа применяемых пожарных машин и пр. Самое же размещение водоемов должно быть таким, чтобы они: 1) не мешали производству строительных работ, транспорту и т. д., 2) обслуживали в первую очередь наиболее огнеопасные и ценные здания, 3) наиболее простыми и дешевыми средствами могли наполняться и пополняться водой, 4) имели удобный подъезд к ним пожарных машин.

Так как некоторые водоемы могут оставаться как постоянные устройства в системе водоснабжения выстроенного промышленного предприятия, то это следует учитывать при выборе точек расположения таких водоемов и их конструкций.

§ 155. Выбор схемы водоснабжения, сооружений и средств временного водоснабжения строительной площадки

Выбор схемы водоснабжения строительной площадки производится в зависимости от возможных водоисточников, размещения сооружений и зданий строящегося промышленного предприятия, требуемых количеств воды и пр. Существенное значение может иметь расселение рабочих и их семейств.

При расселении их во временном поселке близ строительной площадки и при возможности получать воду только из поверхностного источника для удовлетворения хозяйственно-питьевых нужд устраивается общий водопровод как для поселка, так и для строительной площадки с водоочистной станцией. Для целей же производственно-строительных вода подается из источника или в сыром виде (рис. 600) или после простейшей обработки путем отстаивания.

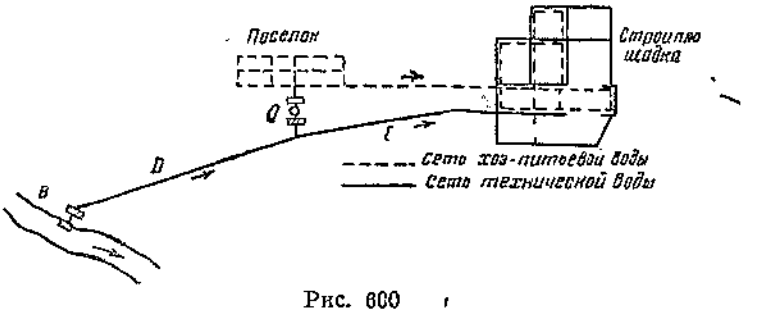


Рис. 600

Если количество воды, требуемое для производственно-строительных целей, невелико (в частности, при введении оборота воды для временных силовых станций, промывочной воды для бетонных работ и пр.), то в целях упрощения, а иногда даже удешевления системы водоснабжения может оказаться целесообразным устройство объединенного водопровода поселка и строительной площадки с очисткой и того небольшого количества воды, которое должно подаваться для производственно-строительных целей.

Из этого же водопровода получается тогда и вода для тушения пожаров.

В остальных случаях она подается на территории поселка из хозяйственно-питьевого водопровода, а на строительной площадке — из хозяйственно-питьевого или производственно-строительного водопровода или же из того и из другого.

Во всех случаях рационально возможно большее применение пожарных водоемов, так как это позволяет устраивать разводящую сеть тупиковой, уменьшать диаметры ее и разгружать другие сооружения водоснабжения от пропуска больших количеств пожарной воды и т. д.

При возможности получать воду для строительной площадки из городского водопровода устройство водоснабжения последней упрощается. На территории площадки укладывается тогда единая сеть труб для подачи воды и для производственно-строительных и хозяйственно-питьевых целей, и для тушения пожаров.

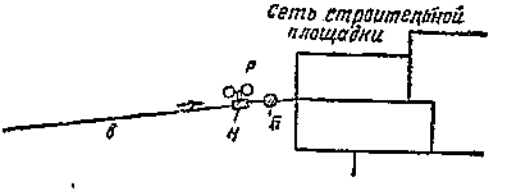


Рис. 601

При отпуске городским водопроводом воды в ограниченном количестве следует максимально использовать возможности введения оборота воды, а также применения пожарных водоемов.

При относительно большом удалении строительной площадки от города и большой длине требующихся водоводов *в* (рис. 601) может оказаться целесообразным устройство у строительной площадки запасных резервуаров *Р* с насосной подстанцией *Н* и водонапорной башни *Б*. Это позволит уложить водовод в одну нитку и обеспечить в достаточной степени бесперебойность водоснабжения площадки.

Если хозяйственно-питьевое (и противопожарное) водоснабжение осуществляемого промышленного предприятия будет базироваться также на получении воды от городского водопровода, то упомянутые подземные резервуары, насосную подстанцию и башню бывает целесообразно строить по типам постоянных, а не временных сооружений, если по совокупности обстоятельств (время, наличие материалов и пр.) это оказывается практически возможным.

Глава XXIII

ПОЛЕВОЕ ВОДОСНАБЖЕНИЕ ВОЙСК

§ 156. Сущность организации полевого водоснабжения и нормы водопотребления

Полевое водоснабжение войсковых соединений, частей и учреждений осуществляется путем развертывания так называемых водных пунктов. Водный пункт представляет собой комплекс устройств, необходимых для получения воды, ее очистки, обеззараживания и обезвреживания, для хранения ее и раздачи.

При недостаточно благоприятной обстановке в отношении водоисточников, по условиям боевой обстановки и пр. вода на водном пункте может получаться из других мест при помощи того или иного водотранспорта; тогда к задачам такого водного пункта относится только: а) хранение воды (с ее обеззараживанием) и б) раздача ее.

В соответствии с потреблением воды войсками на различные нужды на водном пункте оборудуются в общем случае водные точки: а) питьевые — для раздачи хозяйственно-питьевой воды отдельным потребителям (во фляги, котелки и др.), для снабжения кухонь, установок для кипячения и пр.; б) водопойные — для поения лошадей; в) заправочные и обмывочные для машин — боевых, транспортных и др.

Районы развертывания водных пунктов находятся в зависимости от обстановки и указываются штабами соединений (частей), они же указывают прикрепление войсковых частей и учреждений к тем или иным водным пунктам.

При расчете полевого водоснабжения принимаются[1] следующие нормы водопотребления (табл. 50).

Таблица 50

Потребность	Норма на 1 человека в *литрах*				В безводных местностях
	в маневренных условиях	в резерве	в стесненных условиях		
			при горячей пище	при сухом пайке	
Питье (чай, запас во флягах)	3,5	3,5	3,0	4,5	4,5
Приготовление пищи с обработкой продуктов	2,5	4,0	1,5	—	—
Мытье посуды . .	1,0	2,0	0,5	0,5	—
Умыванье	3,0	5,5	1,0	1,0	0,5
Итого . . .	10,0	15	6,0	6	5

[1] Наставление по полевому водоснабжению войск, 1941 г.

В особо тяжелых условиях боевой обстановки и в безводных местностях допускается снижение нормы до 3,5 *л* на человека в сутки, но на срок не более 3 суток.

В условиях позиционной войны, а также при длительном отдыхе в резерве норма водопотребления принимается равной 25 *л/сутки*, из которых 10 *л* — на стирку белья и душ.

Для заправки систем охлаждения машин принимается:

На автомашину ГАЗ-АА . . .	12 *л*	На танкетку и танк	20—100 *л*
„ „ ЗИС-5	26 „	„ самолет тяжелый . .	600 *л*
„ трактор СТЗ	45 „	„ „ средний . . .	400 „
„ „ ЧТЗ	60 „	„ „ малый	100—200 *л*
„ „ „Коммунар" . . .	70 „		

Для дозаправки машин на 100 *км* пробега принимают около 20% вышеуказанной потребности в зависимости от температуры воздуха, состояния дорог и пр.

На мойку машин принимают следующие расходы:

На машину легковую	100—200 *л*
„ грузовую	до 500 „
Танк	500—1 500 „

Нормы водопотребления (в *л/сутки*) для животных принимаются по табл. 51.

Таблица 51

Потребители	Обычная норма	Уменьшенная норма	В безводных местностях
Лошадь, мул	50	30	20
Крупный рогатый скот	50	30	15
Мелкий скот	8—10	3—5	2—3
Верблюд	60	30	20—25
Ишак	22	14	10

§ 157. Средства полевого водоснабжения

Для возможности срочно организовать снабжение войск водой и, в частности, для развертывания водных пунктов на инженерном вооружении Красной Армии состоят табельные средства для добычи воды, ее подъема, очистки, обеззараживания, хранения и транспорта.

Кроме того, могут использоваться и различные местные (подручные) средства.

Отметим главные средства для получения и подъема воды (табельные и другие).

Мелкотрубчатый колодец МТК (рис. 602) состоит в основном: 1) из сетчатого фильтра длиной 0,75 *м* со спиральным наконечником длиной около 300 *мм*, 2) из труб внутренним диаметром 38 *мм*, соединенных между собой муфтами, и 3) насосной колонки, которая навинчивается на верх труб и у поверхности земли имеет рукоятку качания.

Колодец применяется для получения воды из рыхлых водоносных пород, залегающих на глубине не более 7 *м*. При установке насосной колонки в шурфе колодец может получать воду, залегающую и глубже,

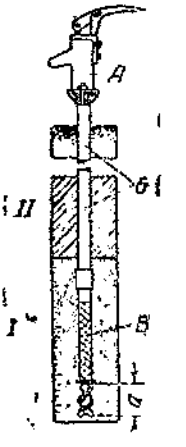


Рис. 602

например на 8—9 *м* и даже несколько более; породы, покрывающие водоносный слой, должны сравнительно легко проходиться бурением.

Вес всего комплекта, помещаемого в два ящика, 140 *кг*. Время на устройство колодца в средних грунтах — 3—4 часа, число людей для устройства колодца — 3—4 человека, производительность в среднем при 30 качаниях в минуту 22 *л/мин*.

При устройстве колодца сначала производится ручное вращательное бурение скважины; затем в последнюю опускается смонтированный на поверхности земли колодец, привинчивается насосная колонка и производится откачка воды.

В нижнюю муфту фильтровой трубы ввинчивается спиральный наконечник; в верхнюю муфту ввинчивается первая колодезная труба, причем предварительно закладывается шайба — седло для шарового клапана. Далее постепенно навинчиваются следующие колодезные трубы, а затем колодец опускается в скважину, причем на трубы надевают шарнирный хомут и путем поворотов и надавливания вгоняют весь фильтр в толщу водоносного слоя. На верх колодезных труб навинчивают насосную колонку, тщательно смазав суриком ее нарезку, и производят откачку воды до ее осветления. После этого отвинчивают колонку, устанавливают шаровой клапан и снова навинчивают колонку.

Глубокий трубчатый колодец ГТК состоит: 1) из комплекта бурового инструмента для ручного ударно-штангового бурения скважины глубиной до 30 *м* (при диаметре обсадных труб 78/89 *мм*) с насосом для строительной откачки воды и 2) из комплекта штангового насоса (насосной лебедки) для подъема воды при эксплоатации колодца.

Бурение производится ударным способом, описанным в § 53.

Фильтр состоит из оцинкованной трубы диаметром 50 *мм*, длиной около 2,0 *м* с просверленными в шахматном порядке отверстиями диаметром 15 *мм* и из латунной сетки, покрывающей всю перфорированную часть. Один конец трубы заварен, а на другом имеется нарезка, на которую навинчивается переходная муфта для спускового ключа.

После установки фильтра при помощи домкрата мощностью до 10 *т* подтягивают обсадные трубы на 1,8 *м*, отрезают излишки и производят строительную откачку. Для этого в комплекте ГТК предусмотрен поршень Летестю. По окончании откачки поршень извлекают, очищают фильтр от песка желонкой диаметром 44 *мм* и устанавливают насосную лебедку.

Вес бурового инструмента с трубами — около 1 700 *кг*. Команда для развертывания бурового инструмента и бурения состоит из 4 человек. Время для развертывания бурового инструмента, включая время на подготовку места для скважины, на устройство треноги, на подготовку самого инструмента и пр. — 7—10 час. Время на ликвидацию колодца без извлечения обсадных труб — 1 час.

Перевозка бурового инструмента производится на 1,5-*т* автомашине.

Станок ударно-канатного бурения УА-75 служит для бурения ударно-канатным способом скважин глубиной 75 *м*, с начальным диаметром обсадных труб 8″ и конечным 4″.

Двигателем для станка может служить любой двигатель или трактор мощностью не менее 15 *л. с.*

На раме станка (по типу рис. 178) около передних ее стоек может устанавливаться электромотор или бензомотор. Транспортировка станка — самоходом или на автомашине при снятом колесном ходу. Общий вес станка с мачтой — 2 900 *кг*. Команда для развертывания станка состоит из 8 человек. Время на развертывание станка — 4 часа. Команда для бурения в одну смену — 4 человека. Время на свертывание станка — 2 часа.

Агрегат вращательного бурения АВБ-100 предназначен для вращательного бурения (роторного и колонкового) глубоких (до 100 *м*) скважин.

Начальный диаметр обсадных труб — 6″, конечный — 4″. Агрегат состоит из двух автомашин ЗИС-6, из которых одна является буровой машиной, а другая — транспортной.

Буровая машина имеет: 1) вышку, трубчатую, дельносварную высотой 8 800 *мм*, приводимую из горизонтального положения в вертикальное — рабочее при помощи двух гидравлических (масляных) домкратов, 2) коробку отбора мощности от двигателя автомашины, 3) редуктор для передачи мощности механизмам буровой машины, 4) вращатель — шпиндель с гидравлической подачей, 5) масляный насос для нагнетания масла в гидравлическую подачу шпинделя и в домкраты для вышки, 6) лебедку, грузоподъемностью в 1,5 *т*, которая крепится на редукторе и служит для подъема, спуска буровых принадлежностей и обсадных труб, 7) грязевой насос для промывки глинистым раствором, 8) катушечный вал для выполнения отдельных вспомогательных операций, 9) систему рычагов и кранов для управления механизмами.

Вес буровой машины с оборудованием составляет 6,93 *т*. Время, необходимое для развертывания машины из походного положения в рабочее (и обратно) — 2—2,5 часа. Обслуживающая команда при двухсменной работе состоит из 12 человек. Средняя скорость бурения в мягких грунтах 6,0 *м/час*, в плотных — 2,0 *м/час*, в известняках — 0,75 *м/час*.

Транспортная машина имеет: 1) бурильные штанги с принадлежностями к ним, 2) буровые наконечники: а) долотья «рыбий хвост», б) долотья шарошечные, в) коронки с победитовыми резцами, г) расширители, 3) глиномешалку, 4) лотки и резервуары для промывки глинистым раствором, 5) вспомогательное имущество.

Кроме отмеченных двух машин для перевозки глины, воды, обсадных труб требуются дополнительные автомашины.

Штанговый насос с водоподъемной лебедкой НГ предназначен для подъема воды с больших глубин (до 60 *м*, считая до поверхности земли) из колодцев с диаметром обсадных труб не менее 6″.

Насосный цилиндр устроен в виде стальной трубы длиной 980 *мм* с внутренним диаметром 92 *мм* и наружным — 102 *мм*; ход поршня цилиндра 220—180 *мм*; соответственно этому при 40 двойных ходах в минуту производительность составляет 58—47,5 *л/мин*. При насосном цилиндре имеются штанги диаметром 1,5″ и водоподъемные трубы диаметром 4″. На одной опорной плите смонтированы лебедка и бензиновый двигатель мощностью 3 *л. с.* с шестеренчатым редуктором, а также кривошипно-шатунный механизм и воздушно-масляный буфер. При нормальной работе двигателя на 3 000 об/мин редуктор, снижая число оборотов до 1 087, сообщает поршню насосного цилиндра упомянутые 40 ходов в минуту.

Воздушно-масляный буфер установлен для обеспечения более постоянного режима лебедки и двигателя и для уравновешивания нагрузки на нее. Начальное давление в буфере создается путем нагнетания в него воздуха посредством автомобильного насоса.

Лебедка может работать и от электромотора мощностью 2,2 *квт* через ремень при числе оборотов 1 400 в минуту. Для этого лебедка имеет шкив диаметром 500 *мм*, которому при нормальной работе необходимо сообщать 233 об/мин.

Вес насосного цилиндра с приемной трубой и клапаном составляет — 42 *кг*. Габаритные размеры лебедки — 807 × 625 × 1 167 *мм*. Полный вес установки с двигателем — 1 400 *кг*. Скорость монтажа на готовом колодце без опускания водоподъемных труб — 20 мин., с опусканием — 2-4 часа. Число людей для полной установки — 4 человека.

Комплект эрлифта для подъема воды с глубины до 55 *мм* имеет: а) водоподъемные трубы (газовые) диаметром 2,5″, б) воздушные трубы

(газовые) диаметром $^3/_4''$, в) смеситель, г) отражатель, д) приемник воды, поднимаемой на поверхность земли, в виде тканьевого резервуара на 6 000 *л*, е) компрессорную самоходную станцию [1] СКС-36, представляющую собой компрессор, смонтированный на автомашине ЗИС-5.

При диаметрах колодцев $d = 6''$ и более эрлифт устанавливается с параллельным расположением труб, а при $d = 4''$—с концентрическим.

Производительность эрлифта: при параллельном расположении труб — 9—11 *м³/час*, при концентрическом — 5,9 *м³/час*. Вес комплекта (без компрессора) — 800—900 *кг*. Время для производства монтажа — 5 час., для производства демонтажа — 5 час. Число людей при опускании и подъеме труб — 4 человека. Перевозится комплект (без компрессора) на 1,5-*т* автомашине.

При диаметрах колодца в 6″ и более следует иметь в виду возможность применения вместо металлических труб мягких рукавов —

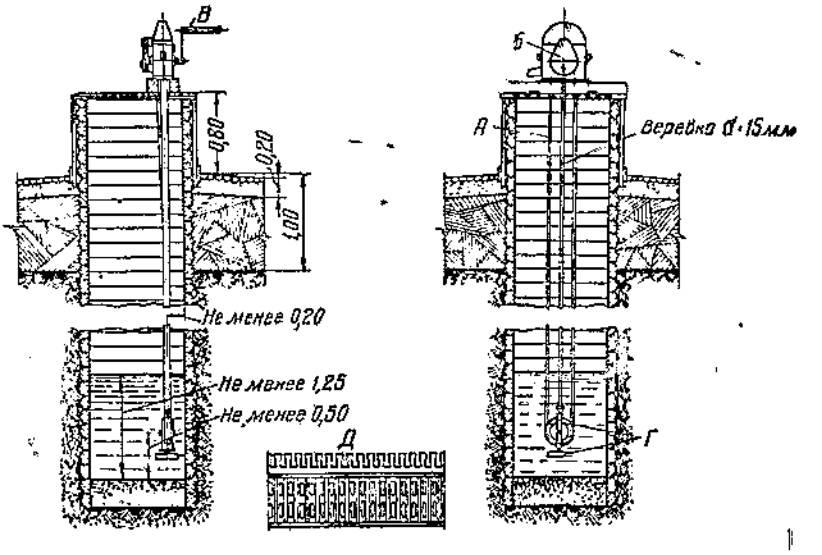


Рис. 603

шлангов. В таких случаях водоподъемная линия монтируется из рукавов диаметром 2,5—3″, а параллельная ей воздушная — диаметром $^3/_4''$—1″.

Шланги связываются между собой проволокой, а соединительные гайки Ротта затягиваются проволокой во избежание их разъединения при опускании в колодец. Водоподъемная линия опускается ниже башмака на 1,5—2,0 *м*; вверху она оканчивается гайкой Ротта, на которую надевается хомут для поддержания эрлифта.

Для подъема воды из шахтных колодцев весьма целесообразен **ячеисто-ленточный водоподъемник.** Предназначен он для подъема воды (рис. 603) из колодцев глубиной до 25 *м* при помощи бесконечной ленты ручным или механическим способом (от бензинового двигателя мощностью 3 *л. с.* или от электромотора).

Основные части водоподъемника следующие:

а) Ячеистая лента — изготовляется из металла, шириной 53 *мм* с ячейками трапецоидального сечения, с прямоугольными отвер-

---

[1] Производительностью 4,5 *м³/мин* с давлением 6 *ат*. Вместо СКС-36 может быть применена прицепная компрессорная установка КС-6 производительностью 6,5 *м³/мин*, с давлением 6—6,8 *ат*.

стиями. Лента состоит из отдельных звеньев длиной до 10 *м* каждое, соединяемых между собой особыми металлическими замками.

Вместо металлической ленты применяют резиновую, имеющую не ячейки, а косые карманчики[1].

б) Водоприемник в виде металлического ящика, в который сбрасывается с ленты поднятая ею вода и из которого она отводится через патрубок для использования. Водоприемник имеет два вала: ведущий — с рукояткой при ручном приводе с большой зубчатой шестерней и ведомый — с малой шестерней и со шкивом, который огибает ячеистая лента. При механическом приводе большая шестерня насаживается на ведомый вал, а малая — на ведущий; вместо рукоятки на ведущий вал насаживается шкив для ремня.

в) Натяжное устройство, помещаемое в слое воды и состоящее в основном из ролика, который огибает лента, и грузила; опускание в колодец и подъем из него натяжного устройства осуществляются при помощи троса, прикрепленного к ушку.

Перекинутая через ролик натяжного устройства и шкив и приведенная в движение лента захватывает своими ячейками воду, которая удерживается здесь пленкой поверхностного натяжения; при набегании на шкив вода выбрасывается в водоприемник под действием развивающейся центробежной силы.

Для хорошей работы водоподъемника слой воды в колодце должен быть не менее 1,2—1,5 *м*; погружение центра натяжного ролика под уровень воды не меньше 0,6 *м*; возвышение натяжного устройства над дном колодца не менее 0,25 *м* (во избежание замутнения воды в колодце). Производительность водоподъемника при ручном приводе — 60 *л/мин*, а при механическом — 120 *л/мин*. Габаритные размеры: основание — 63 × 43 *см*, высота — 60 *см*. Время, необходимое для установки — 15—45 мин. (в зависимости от состояния шахтного колодца), для монтажа установки требуется 2—3 рабочих.

В простейшем случае вместо ленты может быть применен обыкновенный пеньковый канат диаметром 10—15 *мм*, сплетенный в 3—4 нитки. Концы сплетенного каната сращиваются, после того как подъемник подвешен на шкивы. Сращивание производится отдельными прядями на длину 30—40 *мм* так, чтобы толщина стыка не была больше толщины остальной части. По имеющимся данным производительность такого веревочного подъемника примерно около 1 500—1 800 *л/час*.

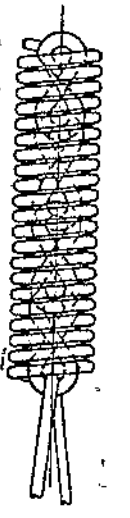


Рис. 604

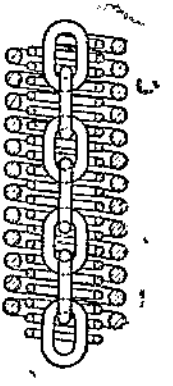


Рис. 604а

Подобно ячеисто-ленточному водоподъемнику хорошим средством для подъема воды из шахтных колодцев может служить водоподъемник «Шен-Элис» (не состоящий как табельное средство на вооружении Красной Армии). Он представляет собой по существу бесконечную нить, перекинутую через два шкива — нижний и верхний — и сконструированную в виде цепи (рис. 604), которая обвита спирально толстой проволокой. Для получения большей производительности применяется цепь со спиралью сложного типа (рис. 604а).

Нижний шкив погружается в воду колодца не менее чем на 0,5 *м*, верхний — располагается выше поверхности земли. При быстром вра-

[1] Она хуже металлической: буксует, практически негодна для работы зимой и имеет несколько меньшую производительность.

щении его от руки или при помощи двигателя цепь увлекает прилипшую к ней воду. При набегании цепи на верхний шкив вода под действием развивающейся центробежной силы сбрасывается в кожух-приемник.

Примерная производительность водоприемников с приводом и требуемая мощность двигателя приведена в табл. 52.

Таблица 52

Высота подъема воды в *м*	Калибр спиральных цепей в *мм*							
	43		31		28		25	
	л/мин	*л. с.*	*л/мин*	*л. с.*	*л/мин*	*л. с.*	*л/мин*	*л. с.*
10	162	1,1	88	0,7	72	0,6	63	0,15
20	160	1,8	87	1,2	72	1,0	60	0,9
30	160	2,6	86	1,7	71	1,4	54	1,3
40	158	3,4	85	2,2	70	1,7	—	—

Кроме перечисленных средств могут использоваться и такие простейшие водоподъемники, как ручные поршневые насосы (в частности, насосы «Красный факел», деревянные насосы из сверленых труб), журавли, вороты и т. д. Пользования непосредственно из колодцев индивидуальной тарой (котелками и пр.) допускать нельзя. Ведра же и другие приспособления, получаемые от местного населения, должны подвергаться до опускания в колодцы дезинфекции.

Для получения воды из поверхностных источников служат ручные и приводные поршневые насосы, а также центробежные насосы с электромоторами или двигателями внутреннего сгорания.

Из последних отметим **мотопомпу**, представляющую собой агрегат, состоящий из горизонтального двухступенчатого центробежного насоса и вертикального двухцилиндрового двигателя внутреннего сгорания. Двигатель — двухтактный с водяным охлаждением мощностью 11 *л. с.* при числе оборотов 2 700—2 800 в минуту. Насос имеет вакуум-аппарат; диаметр всасывающего патрубка 76 *мм*, а нагнетательного 65 *мм*; высота всасывания до 5 *м*, нагнетания до 30 *м*. Производительность мотопомпы 10 *л/сек*.

Агрегат смонтирован на плите, которая поставлена на салазках. Габариты агрегата 945 × 680 × 750 *мм*; вес около 150 *кг*. Время, необходимое для установки при работе 3 человек, — 20 мин.

При благоприятных топографических условиях для подъема воды могут находить применение гидравлические тараны.

Средства очистки, обеззараживания, обезвреживания и умягчения воды

Передвижная водоочистная станция (автофильтр) АФС-5000. Станция смонтирована на двух грузовых автомашинах ЗИС-5, оборудованных кузовами. Машина № 1 представляет собой собственно водоочистную станцию с лабораторией. Машина № 2 служит для перевозки и хранения реагентов, горючих и смазочных материалов, а также различного эксплоатационного оборудования и принадлежностей.

Оборудование машины № 1. Основными частями машины и дополнительными устройствами при ней являются: а) напорный мешалочный фильтр из нержавеющей стали диаметром 0,85 *м*, загружаемый песком и прикрепленный болтами к лонжеронам шасси; б) напорный дехлоратор из нержавеющей стали диаметром 0,44 *м*, загружаемый активированным углем; в) компаратор для контроля качества фильтрата; г) контактный резервуар из нержавеющей стали в виде вертикального цилиндра емкостью около 0,5 $м^3$ с внутренними перегородками для дви-

жения воды по зигзагообразному пути; д) шестеренчатый насос, смонтированный на металлической раме, подвешенной к лонжеронам шасси автомашины; насос производительностью 200 *л/мин* приводится в действие от двигателя автомашины через коробку отбора мощности и служит для подачи или воды на фильтр из устанавливаемого отстойника, или сырой воды в контактный резервуар; ж) реагентная группа, устанавливаемая на полке внутри машины в зимнее время, а летом — вне машины (на треногах); з) шкаф-лаборатория, подвешиваемый на стене кузова; и) тканевый резервуар (РЕ-6000) вместимостью 6 000 *л*, устанавливаемый вблизи станции и получающий воду из источника при помощи центробежного насоса; к) центробежный насос с бензиновым двигателем в 6 *л. с.*, смонтированный на специальной четырех-

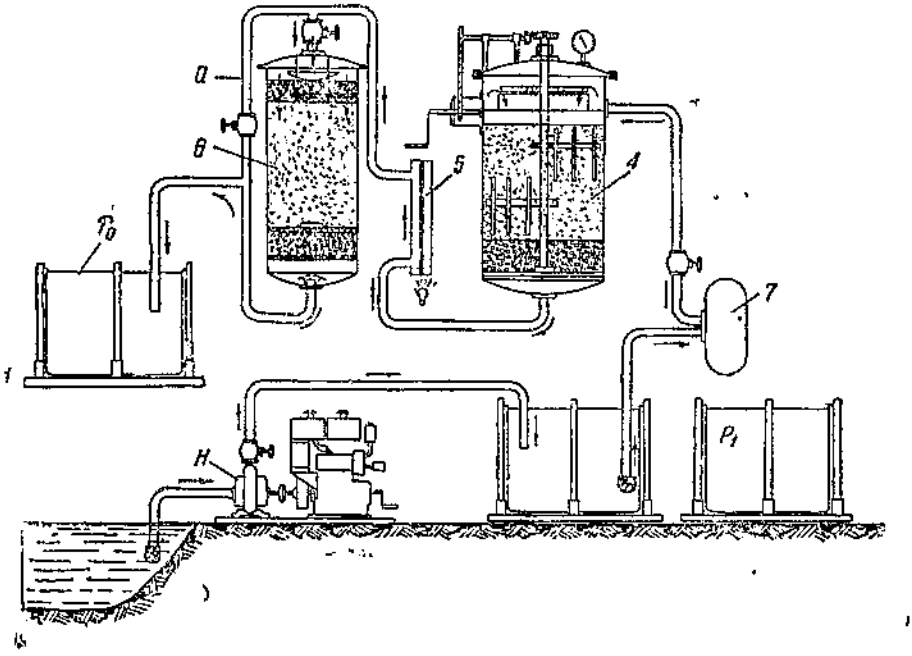


Рис. 605

колесной тележке; в походе он перевозится на машине № 2, а при развертывании станции устанавливается на берегу источника; л) дополнительный резервуар (РЕ-6000), устанавливаемый для отстаивания воды.

Схема работы станции с таким резервуаром приведена на рис. 605.

Насосным агрегатом станции *Н* вода из источника подается попеременно в резервуары на 6 000 *л* для отстаивания. Сюда же подаются растворы коагулянта, соды и хлорной извести с расчетом на перехлорирование воды.

После отстаивания вода шестеренчатым насосом *7* подается на фильтр *4*. Профильтрованная вода идет далее к дехлоратору *6*; через последний пропускают не весь фильтрат, а только часть его; другая же часть его идет, минуя дехлоратор, через шунт *а* в резервуар P_0 чистой воды.

Качество фильтрата контролируется, как уже отмечено, компаратором *5*; последний состоит из двух трубочек, закрытых с обоих концов стеклами и смонтированных рядом на ящике; в ящике помещены электрическая лампочка и зеркальце; поворачиванием последнего можно просвечивать трубочки; в одной из них налита совершенно про-

зрачная вода, через другую же пропускается фильтрат; сравнивая прозрачность воды в обеих трубках, нетрудно улавливать момент помутнения фильтрата, а следовательно и необходимость промывки фильтра.

Производительность станции составляет 5 000 *л/час*. Время развертывания станции из походного положения в рабочее до момента получения первой порции пригодной для питья воды — 70 мин. Продолжительность работы станции между промывками — 7—9 час. Расход промывочной воды (при продолжительности промывки 15 мин.) — 2 500 *л*. Необходимое число людей для развертывания и эксплоатации станции — 5 человек.

Если дополнительный резервуар на 6000 *л* не устанавливается, то схема работы станции существенно изменяется; вода из источника насосным агрегатом станции подается в один резервуар на 6 000 *л*; из него она забирается шестеренчатым насосом, во всасывающую линию которого от реагентной группы подаются растворы коагулянта, соды, хлорной извести.

Шестеренчатый насос качает воду через контактный резервуар, фильтр и дехлоратор в резервуар чистой воды.

Производительность станции при работе ее по этой схеме падает до 2 500 *л* в час, продолжительность работы станции между промывками сокращается до 1—5 час.

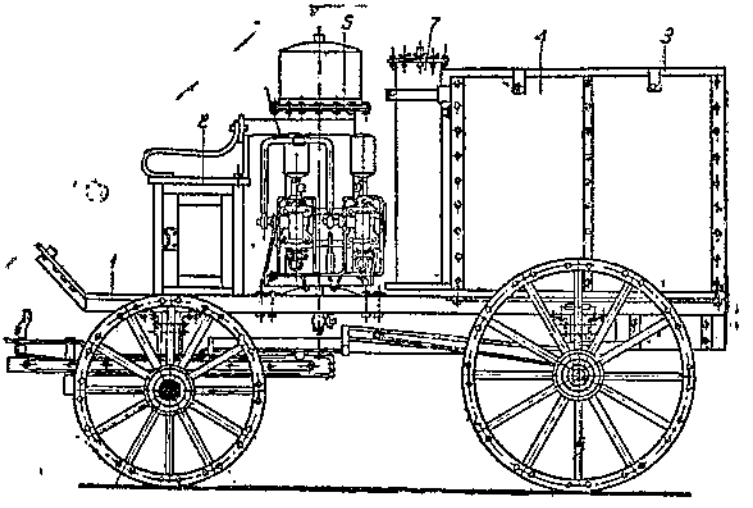


Рис. 606

Фильтр-повозка. Она имеет производительность 500 *л/час* и смонтирована на специальной деревянной раме, укрепленной на четырехколесном пароконном ходу (рис. 606).

Основными составными частями установки являются: а) отстойник в виде ящика, расположенного над задней осью повозки и разделенного деревянной стенкой на две равные части, из которых каждая имеет отдельную крышку; б) дозатор — водомер, смонтированный на внутренней поверхности крышки задней половины отстойника; в) песчаный [1] напорный фильтр, укрепленный на подрессорной раме, которая поставлена на повозку; г) дехлоратор, загруженный активированным углем; д) регулятор производительности, укрепленный на подрессорной раме рядом с фильтром; е) насосная группа, прикрепленная к раме за сиденьем и состоящая из двух спаренных ручных поршневых насосов

[1] Может загружаться дробленым антрацитом.

«Красный факел» № 2, из которых один подает воду из источника в дозатор — водомер, а второй — из отстойника на фильтр; ж) ящик для перевозки и хранения реагентов, помещенный под задним отделением отстойника; з) набор для анализов воды, ее хлорирования и коагулирования, сита для просеивания травия, песка, активированного угля и др.

Для работы в зимнее время необходимо установить повозку в утепленной палатке или другом обогреваемом помещении. Время для развертывания установки до момента получения годного для питья фильтрата составляет 1—1½ часа. Продолжительность работы между промывками 4—8 час. Продолжительность промывки — 15 мин. Количество чистой воды для промывки 250—300 *л*. Вес установки в походном положении 450—500 *кг*. Команда для обслуживания состоит из 3 человек.

Фильтр-повозка в дальнейшем не будет состоять табельным средством полевого водоснабжения войск.

Возимая фильтровальная станция ВФС-1000. Производительность станции 1 000 *л/час*. Перевозится она на пароконной повозке; на автомашине могут перевозиться 3—4 комплекта таких станций.

Один комплект состоит из следующих основных частей: 1) два бескольевых резервуара из прорезиненной ткани (см. далее) емкостью по 1 000 *л*, предназначенные для отстаивания воды с ее коагулированием и перехлорированием, 2) один бескольевый резервуар из прорезиненной ткани емкостью 2 000 *л*, служащий сборником чистой воды. 3) напорный тканево-угольный фильтр производительностью 1 000 *л/час* (см. далее), 4) ручной насос «Красный факел» № 4, 5) запас расходных материалов, запасные части и инструмент.

Вес станции составляет 450 *кг*. Обслуживающая команда — 4 человека. Время развертывания из походного положения до получения первой порции чистой воды — 1 час, время свертывания станции — 30 мин. Продолжительность работы тканевого мешка-фильтра до загрязнения 4—8 час. Время, необходимое для смены тканевого мешка-фильтра, — 10 мин.

Нормальная работа станции зимой возможна только в теплом помещении (палатка, шалаш, землянка и др.). Если все части станции в помещении разместить не представляется возможным, то резервуары (отстойники и резервуары чистой воды) выносят на открытый воздух, утепляя их соломой или снегом.

Вьючный фильтр (ВФ-200) (рис. 607) производительностью 200 *л/час*. Он перевозится на универсальном вьючном седле одной лошадью или любым видом транспорта.

Основными составными частями комплекта вьючного фильтра являются: а) два напорных фильтра *7* цилиндрической формы диаметром 235 *мм*, высотой 450 *мм*, загруженные слоем песка в 300 *мм* или другими материалами[1], имеющие производительность по 100 *л/час;* б) три мешка-бочки *4* по 100 *л*, из которых два для отстаивания, коагулирования и хлорирования воды, а третий для хранения фильтрата; в) ручной вертикальный поршневой насос *5* — гидропульт «Вулкан», г) приспособление для привьючивания к универсальному седлу, д) набор для коагулирования и хлорирования воды, запасные части, инструменты и принадлежности. Вес комплекта фильтра — 70 *кг*. Время для развертывания фильтра до момента получения годного фильтрата — 40—60 мин. Продолжительность работы между промывками — 3—8 час. Продолжительность промывки фильтра — 30 мин. Расход чистой воды на промывку — до 80 *л*.

[1] Кроме песка может применяться для загрузки древесный уголь; допускается загрузка фильтра и такими подручными материалами, как хлопок-сырец, хвойные опилки.

Универсальный носимый фильтр (УНФ-30) предназначен для небольших подразделений (например взвода) и представляет собой небольшую коробку, которую несет один человек в сумке через плечо. Фильтр заряжается слоем угля специальной обработки, который помещается между двумя дырчатыми пластинками. Между последними и углем помещены ватные тампоны с марлей. Коробка фильтра закрыта сверху крышкой с резиновой прокладкой. При фильтре — маленький насосик с всасывающим шлангом; нагнетаемая этим насосиком через фильтр вода поступает наружу через имеющийся выходной шланг.

Фильтр освобождает воду от ядов, мути; цветности, отчасти от бактерий. Для полного уничтожения бактерий профильтрованную воду обеззараживают специальными таблетками. Производительность фильтра 30 *л/час* и до 40 *л/час*. Угольная зарядка фильтра очищает около 60 *л* воды при наличии в ней ядов; при отсутствии таковых количество очищаемой воды увеличивается до 150—200 *л*. После пропуска

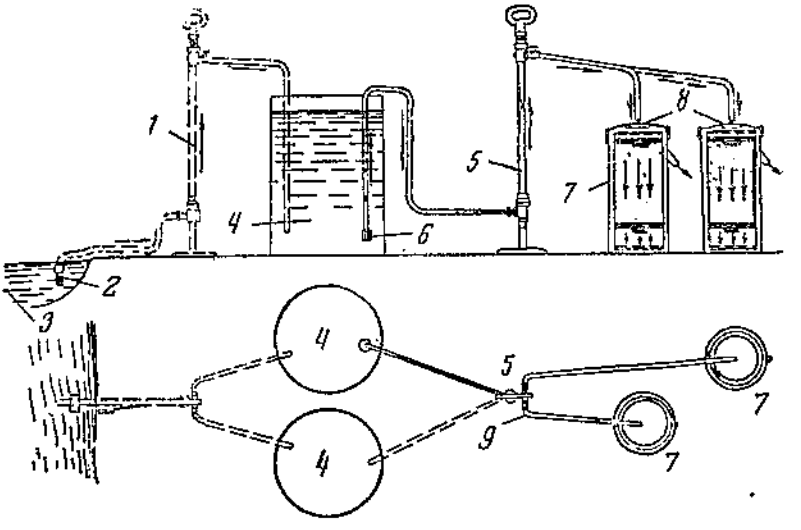


Рис. 607

60 *л* отравленной воды или при появлении окраски, мутности в фильтрате неотравленной воды делается перезарядка фильтра свежим углем и свежими ватными тампонами.

Тканево-угольные фильтры (ТУФ). Большой интерес представляет так называемый тканево-угольный фильтр. Ткани как фильтрующий материал вообще могут иметь большое значение для маленьких установок вследствие портативности последних.

Весьма подходяща ткань в виде суровой саржи. При устройстве фильтра в нижней части цилиндрического резервуара устраивается дренаж, на который кладется активированный уголь. На последний устанавливается решетка, а на нее закладывается предварительно простиранный мешок из ткани длиной порядка 3,0 *м* и более, сложенный в виде гармошки; диаметр мешка несколько больше диаметра резервуара.

Внутрь мешка подается ручным насосом коагулированная и перехлорированная вода после отстаивания. Вода проходит через отдельные участки мешка, осветляясь, но закупоривая его поры. По мере загрязнения ткани растут гидравлические сопротивления, а потому вода раздвигает складки мешка, до сих пор не работавшие, и тем самым включает в действие значительную часть его поверхности. Скорость фильтрации воды через ткань становится малой, а фильтрат прозрачным. Пройдя затем слой активированного угля, вода выходит из фильтра.

Так как первые порции воды, прошедшей через свежезаложенную ткань, еще мутны, то во избежание быстрого загрязнения активированного угля их в течение некоторого времени (например 5—10 мин.) следует сбрасывать через специальное отверстие над углем.

Ткань может работать 4—8 час., после чего мешок вынимается из резервуара, прополаскивается в чистой воде и снова закладывается в виде гармошки. Периодически требуется стирка мешка мылом и щеткой. Уголь целесообразно закладывать в фильтр в мешке из ткани водопроницаемой, но достаточно плотной, чтобы уголь не вымывался.

При организации полевого водоснабжения применяются тканево-угольные фильтры различных типов и производительностей (400 *л/час*, 1 000 *л/час*).

При отсутствии активированного угля допускается применение вместо него обычного древесного (березового) угля с уменьшением производительности фильтра примерно в два раза.

Отметим ТУФ-1000, входящий в комплект описанной выше возимой фильтровальной станции.

Корпус фильтра — деревянный из клепок, в виде бочки, которая имеет форму усеченного конуса; она имеет также дно и крышку из досок. Над дном корпуса помещена деревянная дренажная решетка из планок, на которой насыпаны слой гравия, высотой 70—80 *мм* и слой песка (крупностью 2—3 *мм*) высотой 50—60 *мм*. Поверх последнего — слой активированного угля крупностью зерен 0,25—1,0 *мм*. Во избежание всплывания угля на него укладывается один слой ткани, а на нее песок на высоту 30—50 *мм*. Над указанной загрузкой помещается ивовая корзинка (в форме усеченного конуса высотой 50 *см*), в которую вкладывается мешок из суровой саржи или ткани, идущей на плащ-палатку; длина мешка 400—500 *см*; мешок имеет вшитое дно диаметром 55 *см*; края мешка отворачиваются на борта корпуса фильтра и прижимаются крышкой к резиновому уплотнительному кольцу, которое помещается между корпусом и крышкой.

Фильтры из подручных материалов. Такой фильтр состоит из корпуса в виде деревянного ящика, бочки и т. п. Для загрузки его могут быть использованы следующие материалы.

1) Древесный уголь с крупностью зерен $^1/_2$—2 *мм* слоем 30—35 *см*. Уголь целесообразно загружать в корпус фильтра в тканевом мешке, как и активированный уголь в тканево-угольном фильтре.

2) Хлопок (вата). Предварительно его промывают, затем кипятят 30 мин. в $^1/_2$%-ном растворе хлорной извести и 30 мин. в чистой воде. После этого хлопок разрыхляют и укладывают на дренаж фильтра постепенно с трамбовкой, общим слоем 30—35 *см*. Производительность такого фильтра в час может быть до 1 000—2 000 *л* на 1 *м*^{2} поверхности. При загрязнении хлопка его вынимают, разрыхляют, промывают, кипятят и только после этого вновь используют.

3) Опилки древесные. Свежие опилки после удаления из них щепы и коры, кипятят и промывают, как хлопок. Слой их в фильтре — не менее 30—35 *см*. Загрузка их в корпус фильтра целесообразна в мешке, как и угля.

Обеззараживание воды. Для обеззараживания воды жидким хлором применяют полевые носимые хлораторы; в качестве дезинфицирующего средства пользуются также хлорной известью[1]. Как особый вид обеззараживания необходимо отметить индивидуальное хлорирование с применением таблеток. Такие таблетки[2] бросают по 1—2 шт. во флягу с водой.

---

[1] В небольших подразделениях пользуются заранее приготовленным (в полковой аптеке) раствором хлорной извести.

[2] Упакованные в стеклянные запарафиненные трубочки таблетки проверяются перед выдачей санитарной частью на содержание в них активного хлора.

Полевой водоумягчитель. Он смонтирован на автоприцепе и имеет следующие основные части: а) глауконитовый фильтр с солерастворителем; б) центробежный одноступенчатый насос на одном валу с двигателем внутреннего сгорания мощностью 6 *л. с.* для подачи воды на фильтр; в) тканевый резервуар для сбора и хранения умягченной воды.

Фильтр — цилиндрической формы, диаметром 0,6 *м*. В нижней части его над сплошным днищем — две дырчатые металлические горизонтальные перегородки с напаянными на них сетками. Между перегородками — гравий крупностью 2—5 *мм*. На верхней перегородке глауконитовый песок слоем 0,8 *м*.

Часовая производительность фильтра при жесткости умягчаемой воды до 20° составляет 6,0 $м^3$; с повышением жесткости производительность уменьшается; так, при жесткости сырой воды в 30° она составляет не более 3,0 $м^3$. В зимнее время установка может работать или в отапливаемом помещении или вне помещения, но при условии принятия мер против замерзания воды; в частности, с периодическим пропуском через фильтр горячей воды.

Средства хранения и транспорта воды

Из них в первую очередь отметим резервуары из прорезиненной ткани; на рис. 608 показан **резервуар на 1 000 *л*** размерами 164 × 70 × × 97 *см*. По верхнему краю резервуара протянута веревка, вшитая в ткань и проклеенная резиновой лентой. По углам имеются ушки с петлями для подвески резервуара при его установке; кроме того, имеется шесть карманов для опорных каркасных стоек.

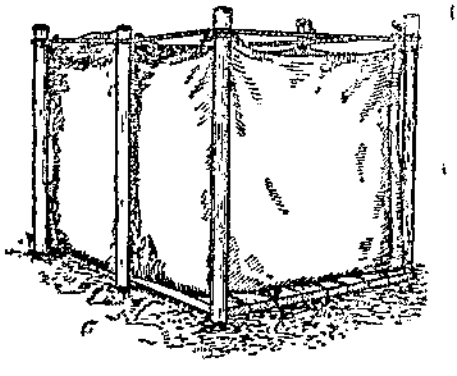


Рис. 608

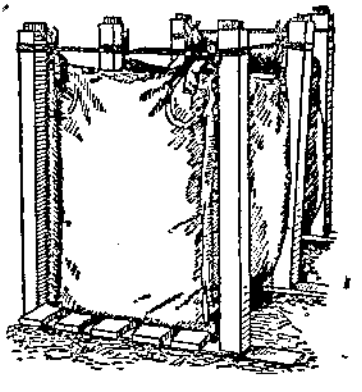


Рис. 609

Резервуар имеет покрышку в виде прямоугольного полотнища из тонкой прорезиненной ткани. По обеим сторонам ее пришиты ленты для привязывания. Резервуар устанавливается на шести кольях или на трех деревянных рамах (рис. 609) на ровной горизонтальной площадке, которую желательно выстлать досками. При помощи петель резервуар подвешивается к крюкам, которые должны быть на кольях; в карманы вставляются каркасные стойки; противоположные колья стягиваются веревками. Вес резервуара — около 30 *кг*. Время для установки — 20 мин. Число людей для установки — 2.

Резервуар-цистерна на 1 200 *л*. Размерами 185 × 130 × 56 *см*, предназначен не только для хранения воды, но и для ее перевозки на автомашинах и по железной дороге. Для наполнения водой в верхней части цистерны имеется горловина, изготовленная также из прорезиненной, но более мягкой ткани. Для разбора воды из цистерны

на одной из ее боковых поверхностей имеется шесть шлангов с эбонитовыми кранами или шесть вделанных в ткань кранов с отъемными шлангами. Для быстрого опорожнения резервуара-цистерны на другой длинной боковой поверхности его имеется шланг с эбонитовым краном. Цистерна имеет 14 карманов, в которые могут вставляться каркасные деревянные стойки.

По верхнему краю цистерны имеется 10 петель с металлическими кольцами для укрепления на автомашине. 1,5-*т* автомашина перевозит одну цистерну; последняя устанавливается на автомашине так, чтобы шесть кранов со шлангами приходились у заднего борта. На 3-*т* автомашине устанавливаются две цистерны поперек платформы. При установке цистерны на земле выбирается ровная площадка 2,0 × 1,5 *м*, которая очищается от сора и по возможности застилается досками, соломой или слоем песка в 5—10 *см*.

Вес резервуара — 35 *кг*. Время для установки — 5 мин. Число людей для установки — 2.

Резервуар на 6 000 *л*. Изготовляется из прорезиненного полотнища 6,8 × 3,2 *м*. Края окаймлены пеньковой веревкой, которая вшита в полотнище и проклеена резиновой лентой. По краям полотнища — 22 ушка, в которые продеты петли; 16 из них — по длине полотнища на взаимных расстояниях 90 *см*, а шесть — по ширине. Этими петлями полотнище подвешивается к крючьям кольев или рам для образования резервуара. На последний натягивается покрышка из прорезиненной ткани, имеющая 12 брезентовых лент.

Вес резервуара — 60 *кг*. Габаритные размеры — 480×125×100 *см*. Число людей для установки и разборки — 3. Время для установки — 30 мин.

Бурдюк на 12,5 *л* (БР-12,5). Бурдюк ранцевый — вьючный или носимый — служит для хранения воды и транспортировки ее бойцом за спиной или животными вьюком (преимущественно в горных и пустынных районах). Бурдюк изготовляется из водонепроницаемой прорезиненной ткани, имеет размеры 250×100×490 *мм* и весит 1,2 *кг*. Для наполнения водой вверху бурдюка имеется горловина; для разбора — внизу трубка с пробкой. Бурдюк имеет, кроме того, войлочную подкладку, ремни, кольца. Для предупреждения больших колебаний воды при транспортировке бурдюк имеет вертикальную перегородку, не доходящую до верха и до дна.

Во вьючный комплект входит четыре бурдюка и четыре войлочные подкладки, которые упаковываются в брезентовый чехол. Вес комплекта около 10 *кг*. Время на привьючивание — 10—12 мин.

Бескольевые резервуары из прорезиненной ткани. Каждый из них, будучи развернут и наполнен водой, имеет форму усеченного конуса с горловиной наверху, перехватываемой тесьмою. Имеются резервуары емкостью 2 000 *л*, 1 000 *л*.

Рис. 610

Мешок-бочка на 100 *л* (РЕ-100) представляет собой резервуар (рис. 610) цилиндрической формы диаметром 50 *см*, высотой 57,5 *см* из водонепроницаемой прорезиненной ткани. По бокам имеются четыре кармана для деревянных опорных стоек длиной по 60 *см*. В верхней части цилиндра — горловина для наполнения водой. Для водоразбора на высоте 10—20 *мм* от днища имеется тубка с эбонитовым краном, с пробкой или краном особой конструкции. У самого дна — четыре планки с металлическими пистонами для укрепления бочки на платформе кузова автомашины и четыре планки сверху с пистонами для подвешивания бочки. Вес бочки составляет 6 *кг*, а время,

необходимое для установки, — 3 мин. На 3-т автомашине могут устанавливаться 24 бочки, на пароконной повозке — 4, на двуколке — 2.

Кроме того, для хранения и транспорта небольших количеств воды может использоваться местная тара в виде бочек, кадок и т. п. после тщательной очистки ее и дезинфекции хлорной известью. Наконец, в тяжелых условиях при отсутствии достаточного количества наземных водотранспортных средств можно организовать доставку воды войскам самолетами.

§ 158. Водные пункты

При выборе места развертывания водного пункта в назначенном районе необходимо руководствоваться рядом условий: а) наличием источника, удовлетворяющего требованиям в отношении количества воды, ее качества, а также наиболее простых средств для ее забора и подъема; б) возможностью доставлять из него воду потребителям по корот-

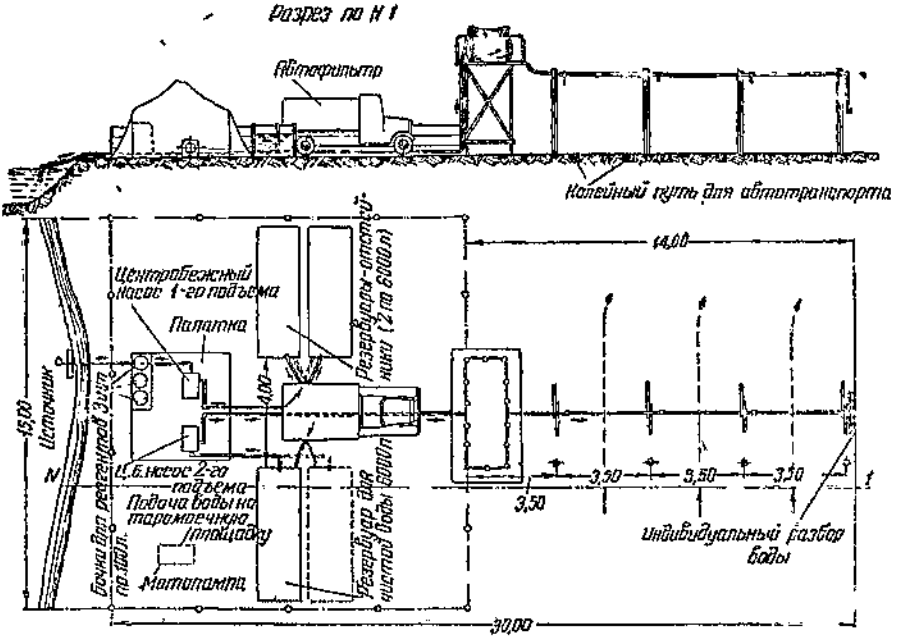


Рис. 611

ким и удобным путям с малым количеством транспортных средств. Ввиду того что из общего расхода воды большая часть идет на приготовление горячей пищи и чая (в обороне до 50%), в соответствующих случаях водные пункты целесообразно развертывать вблизи мест расположения кухонь и кипятильников; г) удалением (но не на большое расстояние) от основных дорог; д) недемаскированием боевых частей; е) возможностью удовлетворительного укрытия от нападений наземного и воздушного противника; в соответствии с этим водные пункты следует удалять на достаточные расстояния от артиллерийских позиций и т. п.

Необходимо, наконец, учитывать устройство надлежащего отвода воды с площадки водного пункта.

При водном пункте большого масштаба должны быть: а) замаскированные площадки для ожидания порожнего и сбора груженого водотранспорта, б) площадка (с оборудованием) для мойки и дезинфекции прибывающей за водой тары, в) полевая лаборатория для анализов воды, помещение для команды, склад имущества и пр.

На рис. 611 показан пример устройства водного пункта с автофильтровальной станцией (АФС-5000).

В палатке около поверхностного источника размещены:

1) насос I подъема, забирающий воду по всасывающему шлангу с плавающим концом и подающий ее в резервуары-отстойники по 6 000 *л*;

2) бачки для растворов коагулянта, подщелачивателя и хлорной извести; растворы подаются во всасывающую линию насоса;

3) насос II подъема, забирающий чистую воду из резервуара (два по 6 000 *л*) и подающий ее в резервуар на вышке, из которого она раздается по трубам. Высота вышки, считая до дна резервуара, порядка 3,5—4,0 *м*; вышка устраивается деревянной или собирается из заготовленных газовых труб.

Разводящие трубы с водоразборными кранами монтируются на стойках. Для наполнения водой автоцистерн краны располагаются на высоте 3,2—3,5 *м*, в зависимости от габаритов транспортных машин, на взаимных расстояниях около 3,5 *м*.

Краны для наполнения фляг, умывания устанавливают на козлах на высоте 1,0 *м* на взаимных расстояниях 0,5 *м*.

Для подачи воды на таромоечную площадку предусмотрена мотопомпа со шлангами.

На рис. 612 показан небольшой водный пункт с двумя комплектами вьючных фильтров.

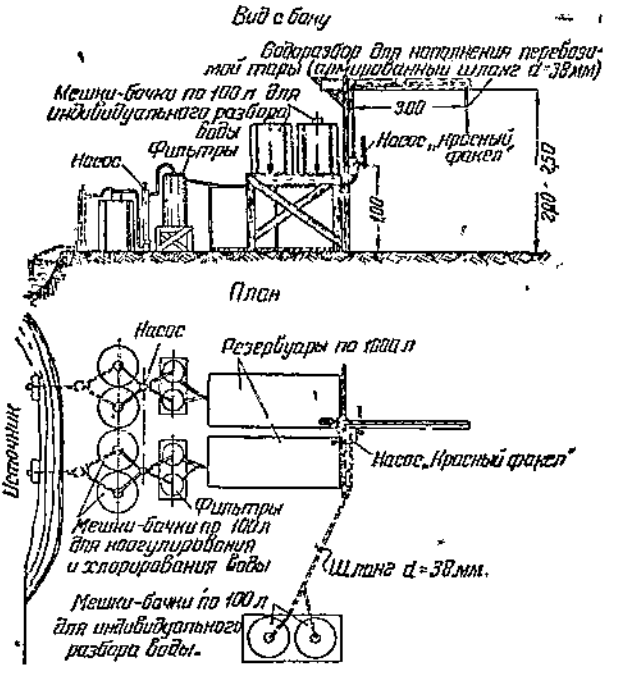


Рис. 612

Иной характер носят моечные водные пункты для обмывки и заправки большого количества боевых машин. Потребное количество воды оказывается иногда настолько значительным, что целесообразно вводить оборот моечной воды, устраивая в земле отстойники для выделения из отработавшей воды механических загрязнений или применяя для этой цели тканевые резервуары.

В зимнее время надобность в обмывке, понятно, отпадает, но зато оказывается необходимым для заправки машин подавать большие количества воды, предварительно нагретой до температуры 80—85° и даже выше при помощи специальных подвижных установок — водомаслозаправщиков. То же имеет место зимой на аэродромах, так как заправка самолетов в это время должна производиться горячей водой с вышеуказанной температурой. Водомаслозаправщики получают воду из резервуаров водных пунктов, нагревают ее, а затем, подъезжая к машинам, заправляют их.

РАЗДЕЛ ВОСЬМОЙ

ПРОИЗВОДСТВО ИЗЫСКАНИЙ И ВЫБОР СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Глава XXIV

СОСТАВ ИЗЫСКАНИЙ ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 159. Этапы изысканий

Различные этапы проектирования водоснабжения требуют наличия соответствующих изыскательских материалов. При проектировании водоснабжения промышленного предприятия необходимо прежде всего иметь генеральный план предприятия в горизонталях, а также рабочего поселка при нем — в масштабе 1 : 1000—1 : 2000; кроме того, требуются данные характеризующие: а) потребные расходы производственной воды как всей, так и оборотной, б) температуру и род загрязнений воды, поступающей в оборотные циклы, в) суточные и часовые колебания расходов производственной воды, г) свободные напоры, с которыми должна подаваться производственная вода к различным цехам или их агрегатам, д) аварийные напоры, допустимые для цехов, а в связи с этим и допускаемое снижение количеств подаваемой производственной воды, е) требования к качеству производственной воды, ж) число занятых по сменам рабочих с указанием числа пользующихся душами, з) противопожарные требования и т. д.

При проектировании водоснабжения городов или рабочих поселков при промышленных предприятиях необходимо иметь план города или поселка в масштабе 1 : 2000—1 : 5000 с горизонталями через 1—2 *м* с характеристикой застройки (плотность, этажность, материал) и т. д. Кроме того, необходим проект планировки города с данными об ожидаемом расширении города, росте населения за расчетный период, плотности заселения кварталов и т. п.

§ 160. Состав изыскательских материалов

Кроме перечисленных в § 159 данных, необходимы следующие материалы.

А. Топографические: 1) общая карта района в масштабе 1 : 25000 — 1 : 50000 с горизонталями; 2) буровые скважины или шурфы по трассам главных водопроводных магистралей через 200—250 *м* во всех характерных местах и в местах устройства водопроводных сооружений (насосные станции, очистные станции и т. п.); 3) профили по трассам главных магистралей в масштабе горизонтальном 1 : 2000 и вертикальном — 1 : 200; 4) план местности под водозаборные и очистные сооружения и насосные станции в масштабе 1 : 1000—1 : 500; 5) поперечные профили берегов реки (или озера) в месте водозабора; 6) данные о близрасположенных промышленных предприятиях и поселках (для вы-

явления возможности устройства общих с ними водопроводных сооружений).

Б. Гидрологические, геологические и гидрогеологические: 1) общая гидрогеологическая характеристика площадки строительства с указанием источников водоснабжения, возможных к использованию; 2) данные о существующих поблизости от места строительства скважинах, а именно: а) статический и динамический горизонты воды в отметках, увязанных с отметками площадки, б) дебит скважин, определенный на основе длительных откачек, в) взаимное влияние скважин одной на другую, г) анализ воды из скважин, 3) данные многолетних наблюдений о горизонтах воды в реке: а) минимальном, б) меженнем, в) максимальном, г) наинизшем и наивысшем горизонтах ледохода и ледостава; 4) многолетние наблюдения за расходами воды в реке; 5) данные о ледовом режиме источника: а) время ледостава и ледохода, б) толщина льда (наибольшая и наименьшая), в) данные об образовании донного льда и ходе шуги; 6) лоцманская карта или план реки в районе водоснабжения; 7) геологические данные о берегах водоема и сведения об оползневых явлениях; 8) анализ воды из реки; 9) геологические данные по грунтам площадки; 10) данные о глубине промерзания грунта.

В. По санитарным и другим вопросам: 1) санитарный очерк по району с указанием возможных источников водоснабжения и их современного состояния; 2) сведения о соседних водозаборах и местах спуска в водоемы сточных вод с указанием количеств и характера последних; 3) соображения местного санитарного надзора о зонах охраны водоисточников; 4) согласованное с пожарной охраной задание на проектирование противопожарного водопровода, а именно: а) система пожаротушения (высокого или низкого давления), б) категория промышленного предприятия по пожарной опасности, в) тип пожарных гидрантов (подземные, надземные) и др.; 5) данные об энергоснабжении; 6) данные для составления технических смет (цены на строительные материалы и оборудование, отпускаемые заказчиком, и на все виды услуг, им предоставляемых); 7) данные, которые необходимы для составления проекта организации работ (сведения о механизмах, местном транспорте, местных строительных материалах и пр.).

Глава XXV

ВЫБОР СХЕМЫ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

§ 161. Технико-экономические обоснования

Изложенные в предыдущих главах сведения дают возможность технически правильно и экономически целесообразно запроектировать отдельные сооружения (входящие в состав системы водоснабжения того или иного объекта), а также в зависимости от местных условий установить режим работы, выбрать конструкцию отдельных сооружений и оптимальные их размеры.

Однако при проектировании водопроводных систем, кроме рационального проектирования отдельных ее элементов, необходимо добиться такого положения, чтобы вся система в целом (весь комплекс сооружений) получила наиболее экономичное разрешение при данных местных условиях. Экономичность запроектированной системы водоснабжения определяется по величине затрат на ее сооружение и эксплоатацию. За основной показатель рентабельности водопровода принимается обычно суммарная величина ежегодных затрат, включающая прямые расходы по его эксплоатации и отчисления со строительной стоимости (см. главу XXVII).

Экономически наивыгоднейшей системой водоснабжения данного объекта следует считать такую, для которой величина ежегодных затрат будет минимальной. Следует, однако, отметить, что большую роль при выборе схемы имеет также и абсолютная величина требуемых капиталовложений.

Выбор схемы водоснабжения в очень большой мере зависит от местных природных условий и в первую очередь от характера источников водоснабжения, их мощности, удаленности и трудности получения из них воды, ее качества и т. д. Рельеф местности, характер грунтов, климатические условия и т. п. также имеют большое значение при выборе рациональной схемы.

Чрезвычайно большое разнообразие местных природных условий в сочетании с разнообразием экономических факторов обычно осложняет вопрос выбора оптимальной схемы водоснабжения. Трудность решения задачи увеличивается также большим разнообразием во взаимном расположении объектов, потребляющих воду, планировки населенных мест и промышленных объектов, способах расходования ими воды и требованиях, предъявляемых к качеству воды, напорам и т. п.

Все эти обстоятельства должны быть учтены при выборе схемы водоснабжения и самый выбор должен быть проведен в результате тщательного технико-экономического анализа.

В практике проектирования выбор схемы водоснабжения всякого значительного объекта решается путем сравнения нескольких возможных вариантов. Наметив несколько вариантов схемы водоснабжения, определяют стоимость сооружения и эксплоатации водоснабжения по каждому варианту, пользуясь укрупненными измерителями (см. гл. XXVII), и выбирают вариант, дающий наилучшие экономические показатели. Богатый опыт проектирования водопроводов и изучение влияния отдельных факторов на выбор той или иной (оптимальной) схемы водоснабжения позволяет обычно, несмотря на огромное разнообразие местных условий, ограничиваться относительно небольшим числом вариантов, подвергаемых сравнению. После выбора наивыгоднейшей схемы водоснабжения могут быть окончательно установлены тип и конструкция отдельных водопроводных сооружений.

При решении вопроса о выборе типа каждого отдельного сооружения также может иметь место сравнение вариантов, однако, должны быть сохранены его основные показатели, диктуемые общей схемой.

Такой порядок проектирования обеспечивает экономичное решение как всей системы в целом, так и ее отдельных элементов.

§ 162. Выбор схемы водоснабжения путем сравнения вариантов

При выборе схемы водоснабжения данного объекта в основу должны быть положены определенные требования, выполнение которых обязательно при любом варианте схемы. Сюда относятся: а) требования потребителей в отношении количества и качества воды, а также мест и режима ее расходования, б) требования действующих технических условий и норм и, в частности, правил пожарной безопасности, МПВО, санитарных и техники безопасности.

При обязательном удовлетворении перечисленных требований на выбор экономически наивыгоднейшей схемы водоснабжения будут влиять следующие факторы: а) природные условия и в особенности характер возможных источников водоснабжения, б) местные экономические факторы, в частности, стоимость электроэнергии или топлива, стоимость производства строительных работ, подвоза материалов и т. п., в) наличие и необходимость использования существующих водопроводных устройств.

В большинстве случаев каждая система водоснабжения устраивается для обслуживания группы потребителей, предъявляющих к воде различные требования. В городских водопроводах в число потребителей входят как население города, так и промышленные объекты, находящиеся на территории города; то же наблюдается и в водопроводах промышленных предприятий, поскольку на территории промплощадки (как указывалось выше) вода расходуется не только на технические, но и на хозяйственно-питьевые нужды. Кроме того, все объекты должны быть обеспечены водой для целей пожаротушения. При проектировании в первую очередь необходимо решить вопрос о том, следует ли устраивать единую или раздельную систему водоснабжения для этих объектов. Решение этой задачи обычно тесно связано с вопросом о выборе источника водоснабжения.

В гл. I были приведены примерные схемы водоснабжения промышленного предприятия и поселка при нем как при одной общей системе, так и при раздельной (в зависимости от качества воды, возможных для использования источников).

Выбор схемы производится на основе определения величины ежегодных затрат по каждому из возможных вариантов.

Для любого объекта при наличии нескольких конкурирующих источников водоснабжения следует провести технико-экономическое сравнение водоснабжения из разных источников. При этом сравнению в основном подлежат: стоимость получения и стоимость транспортирования воды от разных источников, а также стоимость очистки воды (в зависимости от ее качества в источнике).

В ряде случаев затраты на транспортирование воды от далеко расположенного источника могут окупаться хорошим качеством воды, не нуждающейся в очистке, которая необходима и вызывает большие затраты при использовании близко расположенного источника. Следует иметь в виду, что при выборе источника питьевой воды решающими могут явиться соображения санитарного порядка. При значительном удалении выбранного источника от места потребления воды стоимость водоводов составляет большой процент от стоимости водоснабжения, и поэтому обычно сравнивают несколько вариантов трассы водоводов, выбирая из них экономически наивыгоднейшую.

В ряде случаев экономическому сравнению подвергаются варианты расположения очистной станции — у источника или у города. При этом принимается во внимание суммарный расход энергии на подачу воды насосными станциями I и II подъема с учетом режима их работы, разность диаметров и стоимость водоводов при том и ином расположении очистных сооружений и, наконец, стоимость отвода промывных вод с фильтров. Если условия размещения объектов на местности и ее рельеф дают основания для устройства станций подкачек и зонирования сетей, то производятся экономические сравнения вариантов деления систем на зоны. В промышленных водоснабжениях сравниваются, кроме того, варианты прямоточной и оборотной систем, варианты различных группировок отдельных потребляющих воду цехов по напорам, по качеству и температуре воды и т. п.

При выборе схемы водоснабжения соблюдение санитарных требований оказывает влияние на выбор места забора воды, так как этими требованиями предусматривается необходимость предохранения источника от заражения сточными водами, организация охранных зон и т. п.

Условия МПВО в отдельных случаях могут оказать весьма существенное влияние на выбор схемы, требуя использования нескольких источников питания или нескольких точек забора воды, запасных емкостей и тому подобных гарантий бесперебойности снабжения водой объекта. Выполнение этих требований обязательно при выборе схемы водоснабжения определенных категорий объектов даже в том случае,

если они не согласуются с требованиями экономии. Это отступление, очевидно, не нарушает общего экономического принципа выбора варианта при соблюдении определенных заданных условий.

При выборе схемы водопровода необходимо учитывать намечаемую очередность строительства водопровода. Эта очередность зависит, во-первых, от установленной очередности строительства или расширения снабжаемого водой объекта, во-вторых, от условий кредитования строительства водопровода и, в-третьих, от экономической целесообразности постепенного развития водопровода в соответствии с ростом водопотребления.

Наконец, при выборе схемы следует учитывать наличие существующих водопроводных устройств. В весьма большом числе случаев при проектировании новых городских и промышленных водопроводов приходится считаться с наличием уже существующих водопроводов, устаревших и не удовлетворяющих современным требованиям потребителей.

В зависимости от соотношения масштабов вновь намечаемого строительства водопроводных сооружений и уже существующих устройств может оказаться необходимым: а) расширение существующего водопровода; б) коренная его реконструкция; в) проектирование и строительство нового водопровода с учетом и использованием существующих устройств.

Расширение водопровода может потребоваться, когда существующий водопровод по количеству подаваемой воды отстает от возросшей потребности, и необходимо лишь увеличение мощности и пропускной способности отдельных его сооружений — насосных и очистных станций, водоводов и сетей. В этом случае обычно существующая схема водопровода не претерпевает каких-либо принципиальных изменений, и вопрос решается путем расширения отдельных сооружений, прокладкой дополнительных водоводов и разводящей сети в основном по старой схеме, увеличения производительности насосных станций и т. п.

Если существующий водопровод весьма сильно отстает по своей мощности от современной потребности в воде, и может потребоваться увеличение не только производительности системы, но и напоров в ней, в том случае, когда используемый источник водоснабжения становится недостаточным, а отдельные водопроводные устройства уже технически устарели, требуется коренная реконструкция существующего водопровода. При этом схема существующего водопровода может быть в основном сохранена, но подвергнута значительным изменениям и дополнениям.

Наконец, в ряде случаев, когда существующий водопровод оказывается настолько технически устаревшим и не удовлетворяющим существующей потребности в воде или источники оказываются настолько недостаточными, что расширение или частичная реконструкция водопровода не дают выхода из положения, приходится проектировать новую систему водоснабжения, часто основанную на совершенно новых источниках водоснабжения. В последнем случае принципиальная схема водоснабжения создается заново, однако, если имеются существующие устройства, они должны быть по возможности включены в новую систему.

Учет существующего водопровода в этом случае является одним из факторов, оказывающих свое влияние на выбор новой схемы.

В условиях военного времени разрушения основных сооружений существующих водопроводов бывают столь значительны, что при их восстановлении может быть принята совершенно новая схема устройств.

В этом случае следует взвесить все обстоятельства в отношении восстановления ранее существовавшей системы, поскольку она может

оказаться мало совершенной, и для рассматриваемого объекта может быть принята более совершенная и рациональная с точки зрения последних достижений техники схема.

§ 163. Выбор схемы водоснабжения при разрешении комплексных водохозяйственных проблем

При выборе схем водоснабжения отдельных объектов, особенно крупных промышленных предприятий, весьма часто возникает вопрос о возможности объединения одной системой водоснабжения нескольких, относительно близко расположенных объектов. Такое объединение позволяет осуществить устройство общих водозаборных сооружений, иногда общих очистных и насосных станций, что в очень большой степени снижает стоимость строительства и эксплоатации водопровода по сравнению с устройством изолированных самостоятельных систем для каждого объекта. В условиях социалистического хозяйства и отсутствия частной собственности такое объединение легко осуществимо и широко практикуется. Выбор объединенной схемы водоснабжения должен производиться с учетом требований всех объектов, входящих в комплекс. Весьма часто в такой комплекс входят разнородные потребители, предъявляющие разные требования к качеству воды, например промышленные предприятия, населенные пункты, железнодорожный транспорт и т. д.

В этом случае необходима рациональная группировка объектов с целью устройства для отдельных однородных групп потребителей объединенных систем водоснабжения (например промышленного водопровода и отдельно общего хозяйственно-питьевого водопровода).

При проектировании системы комплексного водоснабжения следует стремиться охватить этой системой по возможности всех потребителей воды в пределах обслуживаемой территории.

Масштабы водопотребления комплексных систем водоснабжения бывают часто столь значительны, что требуют зарегулирования водного стока поверхностных источников путем устройства плотин и водохранилищ. Устройство регуляционных сооружений неизбежно затрагивает интересы водного транспорта, лесосплава и, кроме того, может быть одновременно использовано для разрешения гидроэнергетических проблем и проблем орошения.

Для правильного разрешения всех этих вопросов должны быть учтены интересы отдельных отраслей промышленности и народного хозяйства, входящих в комплекс, при условии, что весь комплекс в целом представляет наивыгоднейшее решение.

В годы социалистического строительства у нас в Союзе запроектирован и осуществлен ряд грандиозных комплексных водохозяйственных систем.

Одним из наиболее ярких примеров таких систем является канал Москва—Волга, постройка которого разрешила одновременно проблему водоснабжения столицы и проблему водного транспорта, соединив по кратчайшему направлению мощной водной магистралью Москву с Волгой.

РАЗДЕЛ ДЕВЯТЫЙ

ЭКСПЛОАТАЦИЯ ВОДОПРОВОДА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ВОДЫ

Глава XXVI

ЭКСПЛОАТАЦИЯ ВОДОПРОВОДОВ

§ 164. Основные задачи эксплоатации водопровода и организация водопроводного хозяйства

Как бы хорошо ни была запроектирована и построена система водоснабжения, эффективность ее работы будет в значительной степени зависеть от методов эксплоатации.

Системы водоснабжения современных крупных городов и промышленных предприятий, представляющие комплекс большого числа разнородных элементов, требуют четкой и детально проработанной схемы организации управления и эксплоатации.

Основными задачами эксплоатации водопроводных систем являются: 1) обеспечение бесперебойности подачи воды (в требуемых количествах и под требуемым напором), 2) обеспечение надлежащего качества подаваемой воды.

Кроме технической эксплоатации водопровода на организацию, ведающую водопроводом, возлагаются задачи организационно-хозяйственного порядка, как-то: отпуск и учет расходуемой воды, взимание платы за воду, охрана водопроводных сооружений и источников, снабжение необходимыми материалами и т. п.

В городах эксплоатацией водопровода ведают органы городских советов. При этом в зависимости от масштаба города могут быть созданы специальные управления, отделы или тресты для эксплоатации городского водопровода (в весьма крупных городах), управления или отделы, ведающие одновременно водопроводом и канализацией, и, наконец, в средних и малых городах — отделы, ведающие всеми видами городского благоустройства (городские коммунальные отделы). На промышленных предприятиях среднего и малого масштаба эксплоатацией водопровода и канализации обычно ведают отделы главного механика или главного энергетика завода, в штате которых предусматриваются соответствующие единицы. На крупных заводах организуется специальный цех водоснабжения и канализации. На железных дорогах вопросами водоснабжения ведают отделения паровозной службы.

Штат всякой организации, ведающей эксплоатацией водопровода, включает руководящий административно-технический персонал, вспомогательный управленческий аппарат, технический персонал, обслуживающий отдельные водопроводные сооружения (механики, электромонтеры, машинисты, слесари, подсобные рабочие насосных и очистных станций, а также десятники, слесари и рабочие по ремонту и эксплоатации сети).

Организация, ведающая водопроводом, проводит также работы по расширению и переустройству сетей и отдельных сооружений в соответствии с ростом водоснабжения.

Ввиду необходимости обеспечить полную бесперебойность работы водоснабжения исключительное значение имеет правильная организация связи отдельных водопроводных сооружений между собой и с центральным управлением. Руководящий персонал должен быть постоянно в курсе работы отдельных сооружений и немедленно узнавать о происшедших авариях или перебоях в работе водопровода. На крупных водопроводах подобная связь весьма успешно достигается диспетчеризацией работы водопровода, для чего устраиваются диспетчерские пункты на насосных и очистных станциях, на участках сети и центральный диспетчерский пункт в управлении. Главный диспетчер (на центральном пункте) получает сведения с отдельных сооружений, координирует их работу, осуществляет связь с органами МПВО и пожарной охраны, направляет аварийные бригады на места повреждений и концентрирует все сведения о работе водопровода для возможности осуществления центрального руководства. Диспетчерские пункты должны иметь надежную телефонную связь.

§ 165. Организация и содержание охранных зон

Одним из важнейших организационных мероприятий, обеспечивающих надлежащее качество воды хозяйственно-питьевых водопроводов, является установление и содержание зон санитарной охраны. Это мероприятие имеет целью предотвратить возможность заражения источников водоснабжения.

Зоны санитарной охраны разделяются на три пояса.

Первый пояс прилегает непосредственно к источнику водоснабжения; в этом поясе запрещается застройка, а также проживание и доступ лиц, не имеющих прямого отношения к эксплоатации водопроводных сооружений.

Второй пояс окружает территорию, прилегающую непосредственно к источнику; в этом поясе допускается только такое использование территории или источника, которое не может повлечь ухудшения качества воды в последнем; не допускается без особого разрешения санитарной инспекции строительство дорог, уничтожение насаждений и т. п.

Третий пояс включает в свои границы первый и второй пояса, а также окружающую их территорию, не требуя введения каких-либо специальных ограничений при использовании отведенной для него площади. В этом поясе устанавливается лишь постоянное наблюдение в отношении возникновения эпидемических инфекционных заболеваний, которые могут передаваться через воду, причем возникновение таких заболеваний вызывает усиление мероприятий по обеззараживанию воды на очистных сооружениях водопровода.

Правильная организация охранных зон городских водопроводов имеет исключительно важное значение для обеспечения высокого санитарного качества воды, подаваемой населению, и приобретает особую роль в условиях военного времени.

§ 166. Общие вопросы технической эксплоатации водопровода

При описании устройства отдельных водопроводных сооружений в предыдущих главах давались основные сведения по технической эксплоатации этих сооружений.

В дополнение к этим сведениям даем здесь перечень общих мероприятий по технической эксплоатации водопровода.

К таким мероприятиям относятся:

1) содержание в исправном состоянии всех сооружений и их оборудования;

2) периодический осмотр всех сооружений и устройств;

3) проведение планово-предупредительного ремонта;

4) выявление и ликвидация аварий;

5) регулярные наблюдения за качеством воды в источнике, проходящей отдельные стадии очистки и подаваемой потребителям;

6) назначение и изменение доз реагентов в процессе очистки;

7) наблюдение за контрольно-измерительной аппаратурой;

8) подготовка водопроводных сооружений к работе в зимних условиях;

9) очистка, промывка и дезинфекция отдельных сооружений и сети труб;

10) наблюдение за исправностью, ремонт и испытание водомерного хозяйства;

11) борьба с утечкой и непроизводительными тратами воды.

§ 167. Водомерное хозяйство

Количество воды, подаваемой насосными станциями и отпускаемой потребителям, должно строго учитываться. Учет этот необходим: 1) для контроля за правильным расходованием воды, 2) для проведения расчетов по взиманию платы за воду (в коммунальных водопроводах), 3) для контроля за работой насосных станций, 4) для выявления возможных утечек воды из труб и резервуаров.

Для проведения учета устанавливают водомеры на насосных станциях I и II подъема, на очистных сооружениях и у отдельных потребителей. Для контроля за работой отдельных водоводов и магистралей желательно на них также устанавливать водомеры.

Водомеры, устанавливаемые на насосных станциях и других водопроводных сооружениях, предназначены для учета значительных расходов воды. Описание их конструкций дается в курсе насосных станций. Описание водомеров, используемых для учета относительно малых расходов, подаваемых отдельным потребителям, дается в курсе санитарно-технического оборудования зданий.

Управление водопроводом ведет регулярное наблюдение за исправностью водомеров и правильностью даваемых ими показаний. Для этого при водопроводе должна быть организована испытательная водомерная станция, где производятся испытания и проверка водомеров, и мастерская по установке, смене и ремонту водомеров. Водомер, прошедший испытание на станции, снабжается паспортом.

При правильно налаженном водопроводном хозяйстве непроизводительные траты воды потребителями снижаются. Кроме того, учет воды позволяет выявить и принять меры к ликвидации утечек воды. Утечка воды в некоторых городах достигает весьма значительных размеров. По данным Наркомхоза РСФСР за 1939 г. в коммунальных водопроводах РСФСР утечка воды составила 7,7% от количества воды, поданной в сеть. Борьба с утечкой является одной из важнейших задач эксплоатации водопровода.

§ 168. Особенности эксплоатации водопроводов в условиях военного времени

В условиях военного времени, когда объект, обслуживаемый водопроводом, может подвергнуться воздушным нападениям, химической атаке или артиллерийскому обстрелу, эксплоатация водопровода значительно усложняется. В результате обстрелов и бомбардировок могут

возникнуть пожары, в связи с чем водопровод должен обеспечить возможность подачи достаточных количеств воды для тушения огня, не прекращая по возможности подачи воды на другие нужды. Между тем именно в это время могут иметь место разрушения сети или водопроводных сооружений, что вызовет значительную утечку воды или сокращение подачи последней в сеть.

В качестве профилактических мероприятий необходимо устройство и оборудование резервных источников водоснабжения (скважин, колодцев), резервных водозаборных сооружений и насосных станций (например, плавучих насосных станций, установленных на баржах), которые могут заменять стационарные станции при их разрушении.

При повреждении очистных станций может быть допущена временная подача в сеть нефильтрованной воды, подвергаемой лишь хлорированию, для чего должны быть предусмотрены запасные хлораторные у насосных станций I и II подъемов. Должно быть предусмотрено устройство резервных запасов воды путем сооружения копаных пожарных водоемов на территории обслуживаемого объекта.

При наличии опасности химического нападения или бактериального заражения источников необходимо усиление контроля за качеством воды на очистной станции и своевременное принятие надлежащих мер (усиление доз хлора, прекращение забора воды из зараженного водоема).

Для ликвидации аварий в условиях военной обстановки аварийные бригады (подразделения) должны быть усилены, снабжены всеми средствами быстрого передвижения, должны быть созданы запасы необходимых для ремонта материалов, деталей и инструментов и т. п.

Перечисленные мероприятия оказали большую помощь работе наших водопроводов в период Великой Отечественной войны.

Глава XXVII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТОИМОСТИ ВОДЫ

§ 169. Себестоимость и тариф на воду

Себестоимость подачи 1 $м^3$ воды определяется величиной ежегодных затрат и количеством подаваемой потребителям воды. Обозначив полную строительную стимость водопровода через P (в руб.) и сумму ежегодных затрат по его эксплоатации через R (в руб.), можем представить величину себестоимости подачи 1 $м^3$ воды так:

$$\delta = \frac{\alpha P + R}{Q},$$

где α — коэфициент ежегодных отчислений со строительной стоимости;

Q — годовое количество куб. метров воды, подаваемой из водопровода потребителям.

Для определенного периода работы водопровода (между моментами его реконструкции или расширения) величина P остается постоянной.

Величина водопотребления Q, зависящая от нее величина R, а следовательно, и себестоимость δ меняются в отдельные годы эксплоатации. Обычно величина δ определяется для полного развития данной очереди строительства водопровода.

Определение величины себестоимости воды производится в процессе проектирования водопровода дважды. Во-первых, при сравнении вариантов для выбора схемы водоснабжения и, во-вторых, после

составления технического проекта. В первом случае величины P и R определяются по так называемым укрупненным измерителям стоимости, дающим приблизительные значения P и R и приводимым в соответствующих справочниках, во-втором случае — на основании строительной и эксплоатационной смет. Значение δ во втором случае является одним из основных показателей экономичности запроектированной системы.

В процессе эксплоатации водопровода себестоимость воды определяется на основании действительной стоимости строительства водопровода и имеющих место затрат по его эксплоатации и исчисляется на 1 $м^3$ отпущенной потребителям воды.

Определение себестоимости воды в процессе эксплоатации водопровода дает основания для назначения тарифа оплаты воды потребителем. Особое значение определение тарифа имеет в городском хозяйстве.

Тариф на воду, т. е. стоимость воды, по которой она отпускается потребителю, устанавливается в условиях капиталистического строя и социалистического на основании различных принципов. В зарубежных странах водопроводы как принадлежащие частным предпринимателям, так и муниципальные преследуют цель получения максимальной прибыли. Поэтому тариф на воду устанавливается, как на всякую другую продукцию в монопольных предприятиях.

В нашей стране водоснабжение ведется на принципах самоокупаемости. Отпускная стоимость воды определяется плановой себестоимостью плюс начисления, размер которых обусловливается потребностью в расширении предприятий в целях дальнейшего улучшения обслуживания ими населения.

В городских водопроводах применяется часто дифференцированный тариф, предусматривающий различную отпускную цену воды для различных групп потребителей (населения, предприятий и т. п.). В некоторых городах (например в Москве) практикуется единый тариф.

§ 170. Стоимость строительства

При сравнении вариантов для выбора оптимальной схемы водоснабжения строительная стоимость водопровода по каждому варианту может быть определена лишь весьма приближенно, так как размеры и конструкции отдельных сооружений в этой стадии проектирования еще не уточнены.

Для приближенного определения строительной стоимости водопровода обычно используются укрупненные измерители, разработанные на основании опыта строительства и дающие стоимость отдельных сооружений на единицу длины, емкости, мощности и т. п.

Для водопроводных сетей дается стоимость 1 *пог. м* труб из разных материалов с укладкой в грунтах разных категорий, сухих или мокрых. Характер грунтов и наличие грунтовых вод в очень большой степени влияют на стоимость водопроводов и сетей. Так, например, стоимость 1 *пог. м* чугунных труб диаметром 500 *мм* с укладкой (по довоенным ценам) колеблется от 113—115 руб. для сухих грунтов (в зависимости от их категории) до 123—135 руб. для мокрых грунтов при глубине укладки 2 *м*. Оборудование сети фасонными частями и арматурой учитывается обычно надбавкой 15—20% от стоимости труб (с укладкой).

Для баков, резервуаров, отстойников дается стоимость их устройства на 1 $м^3$ емкости в зависимости от материала и грунтовых условий. Стоимость водонапорных башен зависит от их высоты, емкости бака, а также от материала и конструкции. Существуют различные эмпи-

рические формулы для предварительного приближенного определения строительной стоимости водонапорных башен.

Доц. В. Ф. Кожиновым предложена, например, следующая формула, при помощи которой можно с достаточной точностью определить стоимость в рублях железобетонных башен (со сплошной стенкой) по довоенным ценам:

$$S = 175(W + 10H) - 2WH,$$

где W — емкость бака башни в $м^3$ и H — высота до низа бака от поверхности земли в $м$.

Стоимость зданий насосных и фильтровальных станций дается на 1 $м^3$ их объема в зависимости от характера постройки и общей кубатуры здания.

Укрупненные показатели стоимости насосного оборудования дают эту стоимость на единицу установленной мощности (1 *л. с.* или 1 *квт*).

Большие трудности представляет предварительное определение стоимости водоприемных сооружений, тип и конструкция которых очень сильно зависят от местных условий.

Колебания стоимости этих сооружений при одной и той же пропускной способности могут быть весьма значительны. В справочной литературе приводятся данные о стоимости различных типов водоприемных сооружений при различных местных условиях и при различной производительности. Эти данные позволяют по аналогии определить ориентировочно вероятную стоимость подобных сооружений в сравниваемых вариантах. Пользуясь укрупненными измерителями стоимости и определив в первом приближении размеры основных сооружений, можно определить приблизительную стоимость всего водопровода по каждому варианту.

Ежегодные отчисления на амортизацию и капитальный ремонт зависят от технического срока эксплоатации отдельных сооружений.

По промышленным наркоматам постановлением СНК СССР от 8 января 1938 г. установлены нормы амортизационных отчислений с суммарной строительной стоимости водопровода в 5,6—6% в год, из которых 2,2—3,6% — на капитальный ремонт. Для коммунальных водопроводов эти отчисления (установлены СНК СССР 8 апреля 1938 г.) составляют 3,8%, в том числе 1,7% на капитальный ремонт.

После составления (по выбранному варианту) технического проекта и проекта организации работ, составляется смета (по Единым нормам выработки и расценкам), дающая уточненную величину строительной стоимости.

Действительная строительная стоимость водопровода может быть определена лишь по окончании строительства путем составления исполнительной сметы. По ценам 1940 г. стоимость сооружения городских водопроводов колебалась примерно в пределах от 600 до 1 000 руб. на 1 $м^3$ суточной их производительности.

Величина ежегодных отчислений со строительной стоимости остается постоянной в течение всего периода работы водопровода (например, первой очереди строительства) до его расширения (например, пуска сооружений второй очереди).

§ 171. Стоимость эксплоатации

Затраты по эксплоатации водопровода слагаются из расходов на: а) электроэнергию и топливо, расходуемых установками для подъема воды; б) реагенты и воду на собственные нужды (при очистке и дезинфекции воды); в) заработную плату персонала, обслуживающего отдельные сооружения водопровода, а также управленческого аппарата организации, ведающей водопроводом; г) санитарные мероприятия

по охране источников; д) содержание зданий, сооружений, включая текущий ремонт; е) административно-управленческие, цеховые расходы и т. п.

Значительное большинство водопроводных насосных станций оборудованы электронасосами и лишь в отдельных водопроводах небольшой производительности применяются паровые двигатели или двигатели внутреннего сгорания. В городских водопроводах стоимость электроэнергии и топлива составляет от 20 до 40% всей стоимости эксплоатации. Годовая стоимость энергии в рублях при равномерной круглосуточной работе станции может быть определена по формуле:

$$C_э = \frac{0{,}736 \cdot 1\,000 \cdot QH \cdot 24 \cdot n}{3\,600 \cdot 24 \cdot 75\eta}\sigma \approx \frac{QH}{\eta}\sigma,$$

где Q — среднесуточное за год количество подаваемой воды в $м^3$;
n=365 — число рабочих дней в году;
H — полная высота подъема в $м$;
σ — стоимость энергии за 1 *квт-ч* в руб.;
η — общий к. п. д. насосной установки (включая двигатель и передачу).

Величина $C_э$ определяется отдельно для каждой насосной станции (I и II подъемов и станций подкачки).

Стоимость горючего при оборудовании насосных станций двигателями внутреннего сгорания в руб. составит:

$$T = \left(\frac{1\,000QHn \cdot 0{,}736a_1}{3\,600 \cdot 75\eta} + na_2m\right)\varepsilon \approx \left(\frac{QHa_1}{\eta} + na_2m\right)\varepsilon,$$

где a_1 — расход горючего на 1-*квт-ч* установленной мощности в *кг*;
a_2 — то же на один пуск двигателя в *кг* (для станций с несколькими двигателями);
m — число пусков двигателя в сутки;
ε — стоимость 1 *кг* горючего в руб.

Стоимость топлива для паровых насосных установок (паровых прямодействующих насосов) определяется по расходу пара (45—50 *кг*) на 1 *квт* установленной мощности и в зависимости от рода топлива.

Расход на смазочный и обтирочный материал принимается обычно в 3% от стоимости электроэнергии; 15—20% от стоимости горючего при двигателях внутреннего сгорания и 10—15% от стоимости топлива при паровых насосах. В стоимость реагентов входит стоимость коагулянта, извести и хлора.

Стоимость содержания обслуживающего персонала отдельных сооружений, так же как и стоимость управленческого аппарата, может быть ориентировочно определена в соответствии с примерными штатами.

Перечисленные статьи расхода являются основными и должны быть учтены при экономической оценке сравниваемых вариантов.

После составления технического проекта составляется эксплоатационная смета, дающая уточненную величину полной стоимости эксплоатации. В эту величину включаются все расходы по эксплоатации: по содержанию зданий и сооружений, включая их текущий ремонт, по организации и содержанию охранной зоны, по содержанию и очистке водохранилищ, по землечерпанию у водоприемников при наличии наносов и т. п.

По ценам 1940 г. стоимость подачи 1 $м^3$ воды в городских водопроводах обходилась в среднем около 25—35 коп., доходя в мелких городах до 60—75 коп., и в наиболее крупных городах до 15—20 коп.

Величина себестоимости воды меняется в отдельные моменты работы водопровода. После осуществления I очереди строительства до пуска II очереди (например, в течение пятилетнего периода) величина

ежегодных отчислений со строительной стоимости (I очереди) будет постоянна.

Почти неизменной будет также величина расходов по содержанию обслуживающего персонала и управленческого аппарата (рис. 612).

Ежегодные затраты на энергию и реагенты будут расти в соответствии с ростом водопотребления. Ввиду того что водопроводные

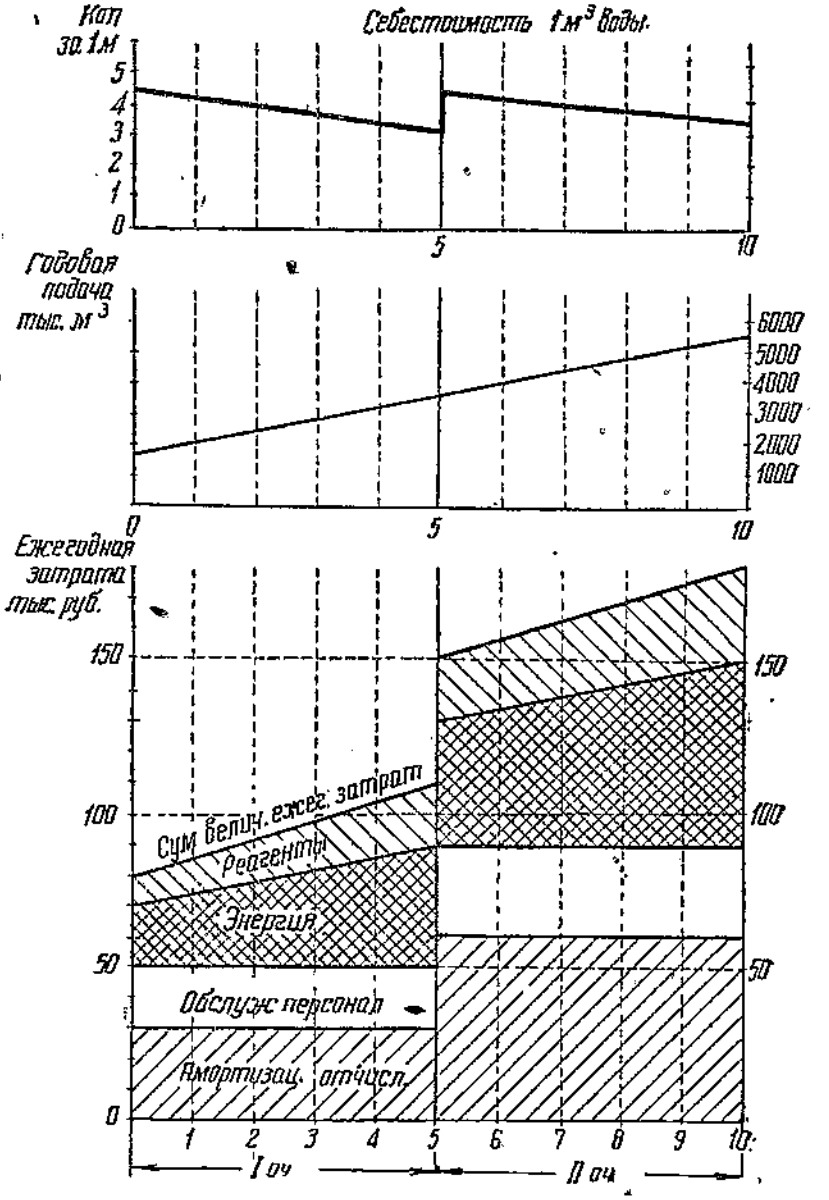


Рис. 613

сооружения и, в частности, насосные станции в начале срока эксплоатации работают не на полную мощность, к. п. д. их ниже, чем при полной нагрузке в конце расчетного периода. Поэтому затраты на эксплоатацию растут медленнее, чем растет водопотребление. Расходы по ремонту (текущему и капитальному) в течение расчетного периода возрастают. Благодаря этому, а также благодаря тому, что значительная часть ежегодных затрат остается постоянной, себестоимость 1 $м^3$

воды для каждого года эксплоатации будет, очевидно, уменьшаться к концу расчетного периода.

После пуска II очереди возрастет сумма отчислений со строительной стоимости и несколько увеличатся расходы по содержанию обслуживающего персонала (правая часть рис. 612). Стоимость энергии и коагулянта будет расти попрежнему в соответствии с дальнейшим ростом водопотребления.

Себестоимость воды, получившая некоторое увеличение в первый год эксплоатации водопровода II очереди строительства, в последующие годы начнет опять падать с ростом количества подаваемой воды и к концу II расчетного срока получит значение, меньшее, чем к концу I расчетного периода.

В водоснабжении промышленных предприятий в ряде случаев расход воды остается постоянным за все время эксплоатации водопровода до пуска следующей очереди строительства и, следовательно, себестоимость воды также постоянна.

Приложение 1

НОРМЫ РАСХОДА ВОДЫ

на хозяйственно-бытовые и коммунальные нужды отдельными крупными потребителями

$$\left(\text{по } \frac{\text{СТ}}{\text{НКХХ РСФСР}}\ 20\right)$$

1. Бани — на одного моющегося	125—180 *л*
2. Прачечные — на 1 *кг* сухого белья	60—75 „
3. Общественные души — на одного пользующегося	40 „
4. Бассейны для плавания:	
а) для наполнения — на 1 $м^3$ емкости бассейна	2,5 $м^3$/*сутки*
б) для восполнения потерь воды при ее очистке и дезинфекции — в сутки 10—15% от емкости бассейна.	
5. Больницы (кроме водолечения) — на 1 койку	300—500 *л/сутки*
6. Детские ясли — на одного ребенка	75 „
7. Детские сады — при наличии душей — на одного ребенка	75 „
То же при отсутствии душей	50 „
8. Клубы — на одного посетителя	6 „
9. Фабрики-кухни — на одного обедающего	25 „
10. Хлебозаводы — на 1 *т* хлеба	2 $м^3$
11. Гаражи: а) на одну легковую машину	200—400 *л/сутки*
б) „ „ грузовую „	400—600 „
12. Фонтаны (без учета оборота воды):	
а) малые	10 $м^3$/*час*
б) средние	20—25 „
13. Поливка улиц и зеленых насаждений (при двух поливках в сутки):	
а) поливка и мытье улиц с усовершенствованными мостовыми — на 1 $м^2$	до 3 *л/сутки*
б) поливка улиц и проездов	1,5—2 „
в) поливка газонов	2,5—4 „
г) поливка цветников	4—8 „

ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ

расходы воды на производственные нужды

№ п/п	Назначение расхода	Единица продукции	Удельный расход воды в $м^3$	
			оборотной	свежей[1]
1	2	3	4	5
	I. Силовые установки			
1	Конденсация пара на теплосиловых станциях:			
	а) при охлаждении в охладительных прудах	1 *т* пара	60*	1,2—1,8
	б) при охлаждении в брызгальных бассейнах и градирнях . .	»	60—70	1,8—3,5
	То же — при исчислении расхода на единицу мощности станции:			
	а) при охлаждении в охладительных прудах: для станций мощностью			
	50—100 тыс. *квт*	1 000 *квт-ч*	260*	7,5—7,8
	50—12 »	»	260—300*	7,8—9,0
	до 12 »	»	400—300*	9—12
	б) при охлаждении в брызгальных бассейнах и градирнях для станций мощностью 50—100 тыс. *квт*	»	280—290	8,4—14,5
	То же 50—12 тыс. *квт*	»	290—350	8,7—17,5
	» до 12 »	»	350—450	10,5—22,5
2	Питание паровых котлов:			
	а) в установках с паротурбинами	»	—	4,5—6
	б) » » с паровыми машинами	1 000 *л. с.*	—	6—7
3	Охлаждение газовых двигателей . .	1 000 *квт*	50—75	2—3
	II. Горная промышленность			
4	Добыча угля	1 *т*	—	0,06
5	Дробление и промывка железной руды	»	—	2,5—6
6	Магнитное обогащение	»	—	2,15—2,45
7	Агломерация	»	—	1,0
	III. Черная металлургия			
8	Доменное производство:			
	а) охлаждение печей	1 $м^3$ полезного объема печи	1 $м^3$/*час*	0,05
	б) разливочные машины	1 *т* чугуна	1—3	0,5—1,5
	в) грануляция шлака	1 *т* шлака	—	1,0
	г) гидравлический транспорт шлака	»	8	2

* Одновременно является нормой расхода свежей воды при прямоточном водоснабжении.

[1] Тире в графе расхода свежей воды означает отсутствие соответствующего нормативного материала.

Продолжение прил. 2

№ п/п	Назначение расхода	Единица продукции	Удельный расход воды в $м^3$	
			оборотной	свежей
1	2	3	4	5
9	Газоочистка:			
	а) электрогазоочистка одноступенчатая	1 000 $м^3$ газа	4—5	0,4—0,5
		1 $т$ чугуна	15—20	1,5—2,0
	То же двухступенчатая	1 000 $м^3$ газа	40	0,4
		1 $т$ чугуна	15	1,5
	б) мокрая механическая газоочистка	1 000 $м^3$ газа	6—7	0,6—0,7
		1 $т$ чугуна	22—28	2,2—2,8
10	Воздуходувки:			
	а) газовая	1 $т$ чугуна	10	0,3—0,5
	б) паровоздуходувка	»	До 45	1,5—2,0
11	Сталеплавильные цехи:			
	а) бессемеровский	1 $т$ стали	—	1,6
	б) мартеновский	»	8—15	0,4—0,75
	в) электроплавка	»	5—25	0,25—1,25
12	Прокатные цехи:			
	а) нагревательные печи и колодцы	1 $т$ слитков	0,5—8	0,02—0,4
	б) гидравлическое удаление окалины	1 $т$ проката	0,6	0,05
	в) правка листов	»	—	2,5—3,5
	г) прокатные станы	»	1—20	0,15—3
	IV. Цветная металлургия			
13	Золото:			
	а) промывка руды	1 $т$ руды	—	6,8
	б) флотация	»	—	2—3
	в) обогащение	»	—	6
14	Свинец:			
	а) флотация	1 $т$ руды	6,5	4
	б) отсадка с конденсацией	»	28—55	15—30
	в) золотой процесс	»	18—27	10—15
	г) выплавка свинца	1 $т$ металла	17—25	10
	д) охлаждение шахтных печей	»	39	19,5
15	Медь:			
	а) обогащение	1 $т$ руды	53—88	29—49
		1 $т$ меди	500	136
	б) выплавка меди в ватержакетах	»	—	350
	» » в отражательных печах	»	17—25	4—6
16	Цинк:			
	а) обогащение руды	1 $т$ руды	53—88	29—49
	б) выплавка цинка	1 $т$ цинка	60—72	9—11
	в) электролитный цинк	»	75—150	10
17	Никель	1 $т$ металла	826	373
18	Алюминий	»	1 500	—

№ п/п	Назначение расхода	Единица продукции	Удельный расход воды в $м^3$	
			оборотной	свежей
1	2	3	4	5
	V. Металлообрабатывающая и машиностроительная промышленность			
19	Чугунное литьё	1 *т* литья	2—5	0,5—1,25
20	Стальное литье	»	7—20	1,75—5
21	Медное литье	»	—	2,5—3
22	Кузнечный цех	1 *т* изделий	—	1—2
23	Производство легковых автомашин	1 машина	300	—
24	» грузовых »	»	85	—
25	» тракторов	»	45	—
26	Станкостроение	1 *т* изделий	—	5—7
	VI. Электропромышленность			
27	Электродные заводы	1 *т* изделий	15	1,5
28	Изолитовые заводы	»	185	9,0
	VII. Коксохимические заводы			
29	Всего по заводу	1 *т* кокса	9—10	2,8—3,5
30	Перегонка угля	»	13,5	—
31	Коксовые заводы	»	—	1,1
	VIII. Химическая промышленность			
32	Производство аммиака	1 *т* продукции	600—1 850	150—450
33	» азотной кислоты	»	130—200	13—20
34	» серной кислоты:			
	а) башенная серная кислота	»	30—40	8—10
	б) контактная » »	»	80—90	20—22
	в) концентрация серной кислоты	»	11—15	4
35	Производство соляной кислоты	»	2,6	0,8
36	» хлоргаза	»	—	13,1
37	» жидкого хлора	»	19,5	3
38	» хлорной извести	»	16—20	1,2—1,5
39	» фтористых солей	»	70	21
40	» фенола	»	180	26
41	» мышьяка	»	—	120
42	» жидкой углекислоты	»	350	—
43	» лакокрасок	»	150	—
44	» органических красок	»	165	—
45	» бертолетовой соли	»	310	—
46	Анилиновая промышленность	»	60—80	—
	IX. Промышленность искусственного волокна			
47	Вискозный шелк	1 *т* продукции	1 500	1 200
48	Вистра	»	1 300	200
49	Нитрошелк	»	1 200	—
50	Медно-аммиачный шелк	»	4 500	—
51	Ацетатный шелк	»	1 700	—

№ п/п	Назначение расхода	Единица продукции	Удельный расход воды в $м^3$	
			оборотной	свежей
1	2	3	4	5
	X. Бумажно-целлюлозная промышленность			
52	Общий расход воды:			
	а) целлюлозное отделение	1 *т* бумаги	300	205
	б) древесно-массное и бумажное отделение	»	500	155
	XI. Нефтяная промышленность			
53	Бензин прямой гонки	1 *т* продукции	6	—
54	Лигроин	»	3	—
55	Керосин	»	2,8	—
56	Соляровый дестиллат	»	4	—
	XII. Резино-асбестовая промышленность			
57	Галошный цех	1 *т* изделий	170	—
58	Промтехнический цех	»	115	—
59	Шинный цех	»	140	—
60	Регенерационный цех	»	210	—
61	Асбестовый цех	»	75—100	—
62	Подошвенный цех	»	35	—
63	Синтетический каучук	»	1 500	80
	XIII. Торфяная промышленность			
64	Кокс	1 *т* изделий	—	3—4
65	Брикеты	»	—	3
66	Смолоперегонные заводы	»	—	18—22
67	Подстилочные »	»	—	2
68	Плиты	»	—	0,27
	XIV. Промышленность строительных материалов			
69	Производство цемента:			
	а) мокрый способ	1 бочка	—	0,366
	б) сухой »	»	—	0,285
70	Производство кирпича:			
	красного	1 000 шт.	—	0,7—1
	силикатного	»	—	1,0
	гжельского	»	—	0,7
	огнеупорного	»	—	0,35
	шамотного	»	—	0,20
71	Производство черепицы	»	—	1,0
72	» кровельных материалов	1 *т* изделий	—	0,9
73	» керамиковых изделий	»	—	10,5
74	» оконного стекла . . .	»	1—24	2,5
	XV. Спиртовая промышленность			
75	Хлебное вино	1 $м^3$	—	5
76	Ректификат	»	—	10
77	Винокурение	»	60	—

№ п/п	Назначение расхода	Единица продукции	Удельный расход воды в $м^3$	
			оборотной	свежей
1	2	3	4	5
	XVI. Свеклосахарная промышленность			
78	Общий расход воды	1 *т* свеклы 1 *т* сахара	— —	8—12 25,35
	XVII. Мясная промышленность			
79	Убой скота: крупного	1 *т* жив. веса	—	6
	мелкого	»	—	10
	свиней	»	—	2
80	Альбуминатные и кишечные заводы	1 голова скота	—	2,5
	XVIII. Кожевенная промышленность			
81	Обработка шкур (весом 3,5—15 *кг*)	1 шт.	—	0,4—1,5
82	Обработка кожи	1 »	—	1,4—5,35
83	Обувное производство	1 пара обуви	—	0,18
84	Дубильно-экстрактные заводы . . .	1 *т* продукции	—	30
	XIX. Консервная промышленность			
85	Производство овощных консервов .	1 *т*	35	—
86	» рыбных »	»	34—39	—
	XX. Хлебопекарная и кондитерская промышленность			
87	Хлеб	1 *т*	—	0,85
88	Макароны	»	—	1
89	Кондитерские изделия	»	—	5
	XXI. Суконные фабрики			
90	Промывка и крашение сукна . . .	100 *м*	—	26
91	» » » трико шерстяного		—	16
92	Крашение шерсти	1 *т*	—	45
	XXII. Хлопчатобумажные фабрики			
93	Хлопчатокрашение	1 *т* хлопка	—	0,07—0,125
94	Ситцепечатные фабрики	1 кусок	—	1,25
95	Бельевой материал	»	—	1,0
	XXIII. Производство пеньки и каната			
96	Общий расход воды	1 *т*	20	20

НОРМЫ РАСХОДА ВОДЫ

на технические нужды железнодорожного транспорта

№ п/п	Характер потребления	Нормы потребления в $м^3$	Коэфициент суточной неравномерности	Коэфициент часовой неравномерности
1	2	3	4	5
1	На поездные паровозы	По тяговым расчетам	—	—
2	Для массовых перевозок	По спецуказаниям	—	—
3	На поддержание паровозов в горячем состоянии на деповских и конечных станциях; на каждый прибывающий паровоз:			
	а) для паровозов СО и слабее . .	3	—	—
	б) „ „ мощнее СО . . .	4	—	—
	То же — в пунктах оборота — для всех серий	1	Равномерно при максимальном суточном количестве поездов, предположенных к обращению на расчетный год эксплоатации	
4	На маневровый паровоз в сутки:			
	а) серий Э, Щ и Е	30		
	б) менее мощных серий	20		
5	На промывку и наполнение водой после промывки паровозных котлов:			
	а) для паровозов СО и слабее . .	20	—	—
	б) „ „ мощнее СО . .	30	—	—
6	На производственные потребности депо; на одно стойло в сутки . .	5	1	1
7	На работу силовых установок:			
	а) паровые котлы на 1 $м^2$ поверхности нагрева за 1 час работы	0,03	1	Равномерно за период работы
	б) двигатели внутреннего сгорания на 1 *л. с.* за 1 час работы	0,015—0,03		
	в) компрессоры на охлаждение их на 1 *л. с.* затрачиваемой мощности за 1 час работы . .	0,025—0,050	—	—
	При обороте воды нормы расхода свежей воды уменьшаются на 80—90%			
8	Промывка и дезинфекция товарных вагонов после перевозки скота, птиц и животных продуктов:			
	а) на 1 двухосный вагон	0,55	1	Равномерно за период промывки
	б) на 1 четырехосный „	0,85		
9	Обливка локомотивов и пассажирских вагонов:			
	а) на 1 паровоз	1,50	1	Равномерно за период обмывки
	б) на 1 электровоз или вагон . .	0,40		
10	Охлаждение агрегатов ртутного выпрямителя в час:			
	а) на 100 *а* выпрямляемого тока .	0,10	1	1
	б) на ртутный насос (на каждый ртутный выпрямитель)	0,06	1	1

ТАБЛИЦЫ УДЕЛЬНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

а) Величины удельных сопротивлений (A) для чугунных водопроводных труб (для расхода Q, выраженного в $м^3/сек$)

D мм	A	D мм	A
40	42 300	400	0,196
50	12 900	450	0,105
75	1 480	500	0,0598
100	319	600	0,0226
125	97,2	700	0,00993
150	36,7	800	0,00487
200	7,92	900	0,0026
250	2,41	1 000	0,00148
300	0,911	1 100	0,000892
350	0,401	1 200	0,000561

б) Величины удельных сопротивлений (A) для стальных водопроводных труб (для расхода Q, выраженного в $л/сек$)

Номинальный диаметр по ОСТ в дюймах D	A	Номинальный диаметр по ОСТ в дюймах D	A
$^3/_8$	35,19	2	0,00813
$^1/_2$	6,51	$2^1/_2$	0,00211
$^3/_4$	1,37	3	0,000877
1	0,334	4	0,000194
$1^1/_4$	0,0675	5	0,0000679
$1^1/_2$	0,0330	6	0,0000264

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Водоснабжение промышленных предприятий и населенных мест. Часть I.— «Водозаборные сооружения поверхностных и подземных вод», инж. Маньковский Г. М., Ереснов Н. В. и доц. Плотников Н. А. под ред. проф. Гениева Н. Н., 1938. Часть II — «Водопотребление. Водопроводные сооружения и сеть», доц. Кожинов В. Ф. и др. под ред. проф. Гениева Н. Н., 1938. Часть III — «Улучшение качества воды», проф. Турчинович В. И., 1940.
2. Коллектив авторов под ред. проф. Азерьер С. Х., Водоснабжение на железнодорожном транспорте, 1940.
3. Проф. Сурин А. А., Водоснабжение, ч. I и II.
4. Проф. Оводов В. С., Сельскохозяйственное водоснабжение, 1939.
5. Проф. Соколов Д. Я., Водозаборные устройства для гидростанций и ирригации, 1937.
6. Проф. Альтберг В. Я., Подводный лед, 1939.
7. Инж. Кусакин И. П., Искусственное понижение уровня грунтовых вод, 1935.
8. Инж. Козлов В. С., Расчет дренажных сооружений, 1940.
9. Проф. Леви И. И., Отстойники и промывные устройства, 1938.
10. Проф. Куличихин Н. И., Бурение на воду, 1938.
11. Инж. Конюшков А. М., Водоснабжение заводов черной металлургии, 1939.
12. Инж. Берман Л. Д., Градирни, 1941.
13. Проф. Казанский А. М., Вспомогательное оборудование турбинных установок, 1941.
14. Проф. Близняк Е. В. и проф. Поляков В. В., Инженерная гидрология, 1939.
15. Водоснабжение железных дорог в районах вечной мерзлоты, под ред. проф. Гениева Н. Н., Сумгина М. И. и Чекотилло А. М., 1939.
16. «Известия Научно-исследовательского института гидротехники» (Ленинград).
17. Труды научно-исследовательской гидротехнической лаборатории, Харьков, 1937.
Журналы: «Водоснабжение и санитарная техника» (Москва), «Гидротехническое строительство» (Москва), Теплосиловое хозяйство» (Москва), «Journal of American Water Works Association», «Water Works Engineering.
18. Абрамов Н. Н. и Каган А. С., Устройство временных водопроводных сооружений, 1943.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3
Введение 5

Раздел первый. **Основные данные для проектирования водоснабжения**

Глава I. *Основные схемы водоснабжения и нормы водопотребления* 10
§ 1. Основные схемы водоснабжения . . . . . —
§ 2. Нормы водопотребления 14

Глава II. *Режим расходования воды и работа водопровода* 19
§ 3. Определение расчетных расходов воды . . . . . —
§ 4. Графики водопотребления 21
§ 5. Режим работы и связь отдельных элементов водопровода в отношении расхода и напора 22
§ 6. Режим работы водопровода при пожаре 28
§ 7. Система водопровода с контррезервуаром 31
§ 8. Определение емкости баков водонапорных башен и резервуаров чистой воды 35

Раздел второй. **Водопроводная сеть**

Глава III. *Проектирование и расчет водопроводной сети* 40
§ 9. Назначение водопроводной сети и ее конфигурация . . . . . —
§ 10. Расчетная схема водопотребления 44
§ 11. Определение диаметров труб 48
§ 12. Определение потерь напора 51
§ 13. Гидравлический расчет разветвленных сетей 57
§ 14. Гидравлический расчет кольцевых сетей 61
§ 15. Расчет кольцевых сетей по методу повторных попыток 65
§ 16. Расчет кольцевых сетей по методу Лобачева 74
§ 17. Принципы инструментального расчета кольцевых водопроводных сетей 79

Глава IV. *Принципы технико-экономического расчета водопроводных сетей* 82
§ 18. Задача технико-экономического расчета водопроводной сети . . . —
§ 19. Технико-экономический расчет водоводов 83
§ 20. Технико-экономический расчет водовода при заданной величине напора в начальной точке 86
§ 21. Принципы технико-экономического расчета кольцевых водопроводных сетей при подаче воды насосной станцией 88

Глава V. *Учет совместной работы отдельных элементов водопровода* 91
§ 22. Взаимная связь в работе основных элементов водопроводной системы . . . . . —
§ 23. Переключения на водоводах 93
§ 24. Особенность расчета системы с контррезервуаром 95

Глава VI. *Зонные системы водоснабжения* 97
§ 25. Понятие о зонных системах водоснабжения . . . . . —
§ 26. Основные принципы проектирования зонных водопроводов . . . 99

Стр.

Глава VII. *Водопроводные трубы и способы их укладки* 104
§ 27. Трубы, применяемые в наружных водопроводных сетях . . . . . —
§ 28. Чугунные водопроводные трубы 105
§ 29. Стыковые соединения чугунных раструбных труб 108
§ 30. Стыковые соединения фланцевых труб 111
§ 31. Стальные трубы . . . . . —
§ 32. Асбестоцементные трубы 114
§ 33. Деревянные трубы 116
§ 34. Железобетонные трубы 121
§ 35. Сравнение труб из различных материалов 122
§ 36. Глубина заложения труб 124
§ 37. Укладка водопроводных труб 125
§ 38. Испытание и дезинфекция уложенных водопроводных линий . . . 128
§ 39. Особенности укладки водопроводных труб в районах вечной мерзлоты 131
§ 40. Техническая эксплоатация сети 133

Глава VIII. *Арматура и сооружения на сети* 135
§ 41. Оборудование сети арматурой . . . . . —
§ 42. Запорная и регулирующая арматура 135
§ 43. Водоразборная арматура 138
§ 44. Пожарные гидранты 140
§ 45. Обратные и предохранительные клапаны 143
§ 46. Воздушные вантузы 145
§ 47. Деталировка сети . . . . . —
§ 48. Колодцы 146
§ 49. Упоры 151
§ 50. Пересечение водопроводных линий с железнодорожными путями и водными протоками 152

Раздел третий. Водоприемные сооружения

Глава IX. *Захват подземных вод* 155
§ 51. Способы захвата подземных вод . . . . . —
§ 52. Трубчатые колодцы и трубчатые водосборы 156
§ 53. Буровые скважины на воду 157
§ 54. Фильтры трубчатых колодцев 175
§ 55. Строительная откачка воды из колодцев 184
§ 56. Размеры и конструкции трубчатых колодцев . . . . . —
§ 57. Расчет колодцев 187
§ 58. Зависимость дебита колодца от различных факторов 193
§ 59. Трубчатые водосборы 198
§ 60. Шахтные колодцы и шахтные водосборы 209
§ 61. Горизонтальные водосборы 214
§ 62. Каптаж ключей 219
§ 63. Шахтные воды 225
§ 64. Искусственные подземные воды 227
§ 65. Изменение дебита и качеств получаемой воды. Искусственное увеличение количества подземных вод 228

Глава X. *Водоприемные сооружения для получения воды из поверхностных источников* 234
§ 66. Выбор места расположения речных водозаборных сооружений . . —
§ 67. Элементы оборудования водоприемников 235
§ 68. Водозаборные сооружения берегового типа 246
§ 69. Водозаборы—крибы 257
§ 70. Водозаборные сооружения с самотечными линиями 263
§ 71. Ковшевые водозаборные сооружения 286
§ 72. Водозаборные сооружения с водоподъемными плотинами 292

Стр.
§ 73. Особые типы водозаборных сооружений 294
§ 74. Сооружения для забора воды из водохранилищ 300
§ 75. Озерные водозаборные сооружения 311
§ 76. Морские водозаборные сооружения 317
§ 77. Водозаборные сооружения временного типа 320
§ 78. Цистерны для сбора атмосферной воды 326

Раздел четвертый. Очистка и обработка воды

Глава XI. *Качество воды природных источников и назначение очистных сооружений* 329
§ 79. Вводная часть . . . . . —
§ 80. Качество воды природных источников и требования, предъявляемые потребителями к качеству воды . . . . . —
§ 81. Основные процессы очистки воды 338

Глава XII. *Осветление воды* 340
§ 82. Закон осаждений взвеси . . . . . —
§ 83. Осаждение взвеси путем отстаивания воды 343
§ 84. Принцип работы и расчет горизонтальных отстойников 344
§ 85. Принцип работы и расчет вертикальных отстойников 348
§ 86. Выбор типа отстойников, устройство и эксплоатация отстойников. 350
§ 87. Суспензионная сепарация 353
§ 88. Коагулирование 354
§ 89. Схема сооружений для коагулирования 356
§ 90. Мокрый способ приготовления и дозирования реагентов 357
§ 91. Сухой метод дозирования реагентов 360
§ 92. Смесители 362
§ 93. Камеры реакции 365
§ 94. Общие принципы фильтрования воды 368
§ 95. Медленные фильтры 370
§ 96. Принцип работы скорых фильтров 371
§ 97. Мешалочные фильтры 372
§ 98. Фильтры с продувкой воздухом 374
§ 99. Безмешалочные фильтры . . . . . —
§ 100. Дренаж скорых фильтров, его расчет и конструкция 375
§ 101. Загрузка фильтров 384
§ 102. Промывка фильтров . . . . . —
§ 103. Скорость фильтрации. Производительность станции и площадь фильтров 388
§ 104. Оборудование фильтра трубами и арматурой 393
§ 105. Напорные и вакуумные фильтры 397
§ 106. Пример расчета безмешалочных фильтров 399

Глава XIII. *Дезинфекция (обеззараживание воды)* 400
§ 107. Основные понятия . . . . . —
§ 108. Хлорирование, как метод дезинфекции . . . . . —
§ 109. Хлорирование газообразным хлором 402
§ 110. Хлорирование хлорной известью 404
§ 111. Помещение хлораторной 407
§ 112. Эксплоатация хлораторных установок . . . . . —
§ 113. Предварительные хлорирование. Двойное хлорирование. 408
§ 114. Перехлорирование. Дехлорирование . . . . . —
§ 115. Аммонизация 410

Глава XIV. *Умягчение воды* . . . . . —
§ 116. Основные методы умягчения воды . . . . . —
§ 117. Известково-содовый способ умягчения воды 411

Стр.

§ 118. Известково-содовый метод умягчения воды с применением рекарбонизации 417
§ 119. Умягчение воды методом обменной реакции 419

Глава XV. *Специальные методы улучшения качества воды* 423
§ 120. Обезжелезивание воды . . . . . —
§ 121. Дегазация воды 426
§ 122. Обессоливание воды . . . . . —

Глава XVI. *Выбор схемы и компоновка водоочистных станций* 427
§ 123. Общие принципы компоновки очистных станций . . . . . —
§ 124. Типовые схемы компоновки 429
§ 125. Подсобные помещения 431
§ 126. Сооружения для очистки воды во временных водоснабжениях . . 432

Раздел пятый. Водонапорные башни. Запасные и водонапорные резервуары. Пневматические установки

Глава XVII. *Водонапорные башни и колонны* 435
§ 127. Общие указания . . . . . —
§ 128. Кирпичные водонапорные башни 436
§ 129. Железобетонные башни 437
§ 130. Стальные башни 439
§ 131. Деревянные башни 440
§ 132. Водонапорные колонны 444

Глава XVIII. *Надземные и подземные резервуары* 445
§ 133. Основные данные . . . . . —
§ 134. Железобетонные резервуары . . . . . —
§ 135. Стальные резервуары 449
§ 136. Резервуары из местных материалов . . . . . —
§ 137. Деревянные резервуары . . . . . —
§ 138. Копаные водоемы 450
§ 139. Оборудование резервуаров 451
§ 140. Достоинства и недостатки подземных и надземных резервуаров . 453

Глава XIX. *Пневматические водонапорные устройства* 454
§ 141. Общие сведения . . . . . —
§ 142. Установки с постоянным давлением . . . . . —
§ 143. Установка с переменным давлением 456
§ 144. Расчет пневматических установок 458
§ 145. Условия образования вакуума в пневматических установках с переменным давлением 460
§ 146. Особые виды пневматических установок 462
§ 147. Определение стоимости электроэнергии при эксплоатации пневматических установок 467

Раздел шестой. Промышленное водоснабжение

Глава XX. *Водоснабжение отдельных промышленных предприятий* 469
§ 148. Производственное водоснабжение тепловых электрических станций . . . . . —
§ 149. Водоснабжение металлургических заводов 473

Глава XXI. *Сооружения для охлаждения оборотной воды* 489
§ 150. Брызгальные бассейны . . . . . —
§ 151. Градирни 500
§ 152. Охлаждающие пруды 513
§ 153. Выбор типа водоохлаждающих устройств 515

Раздел седьмой. Временное и полевое водоснабжение Стр

Глава XXII. *Временное снабжение новостроек* 516
§ 154. Водопотребление строительных площадок . . . . . —
§ 155. Выбор схемы водоснабжения, сооружений и средств временного водоснабжения строительной площадки 518

Глава XXIII. *Полевое водоснабжение войск* 520
§ 156. Сущность организации полевого водоснабжения и норма водопотребления . . . . . —
§ 157. Средства полевого водоснабжения 521
§ 158. Водные пункты 534

Раздел восьмой. Производство изысканий и выбор схемы водоснабжения

Глава XXIV. *Изыскания для водоснабжения* 536
§ 159. Этапы изысканий . . . . . —
§ 160. Состав изыскательских материалов . . . . . —

Глава XXV. *Выбор схемы водоснабжения* 537
§ 161. Технико-экономические обоснования . . . . . —
§ 162. Выбор схемы водоснабжения путем сравнения вариантов 538
§ 163. Выбор схемы водоснабжения при разрешении комплексных водохозяйственных проблем 541

Раздел девятый. Эксплоатация водопровода и определение стоимости воды

Глава XXVI. *Эксплоатация водопроводов* 542
§ 164. Основные задачи эксплоатации водопровода и организация водопроводного хозяйства . . . . . —
§ 165. Организация и содержание охранных зон 543
§ 166. Общие вопросы технической эксплоатации водопровода . . . . —
§ 167. Водомерное хозяйство 544
§ 168. Особенности эксплоатации водопроводов в условиях военного времени . . . . . —

Глава XXVII. *Определение стоимости воды* 545
§ 169. Себестоимость и тариф на воду . . . . . —
§ 170. Стоимость строительства 546
§ 171. Стоимость эксплоатации 547

Приложения 550
Рекомендуемая литература 558