

26728

628
С 59

Проф. Д. Я. СОКОЛОВ

ОТСТОЙНЫЕ
БАССЕЙНЫ
ДЛЯ
ИРРИГАЦИИ
И
ГИДРОСТАНЦИЙ

*

1 9 4 5

ОБЩЕСТВЕННО

ОГИЗ — «СЕЛЬХОЗГИЗ» — МОСКВА

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОТЕХНИКИ И МЕЛИОРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫЙ ИНСТИТУТ
ИМ. В. Р. ВИЛЬЯМСА

Проф. Д. Я. СОКОЛОВ

ОТСТОЙНЫЕ БАССЕЙНЫ ДЛЯ ПРИГАЦИИ И ГИДРОСТАНЦИЙ

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

ПОДАНО

О Г И З

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
СЕЛЬХОЗГИЗ

19 — МОСКВА — 45

Ответственный редактор
А. М. ЦАРЕВСКИЙ

О П Е Ч А Т К И

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
103	26 снизу	(рис. 67)	(рис. 65)
154	2 сверху	поворотная	водоворотная
264	6 сверху	$(wL-u)$	(w_0-u)
264	2 снизу	$H=1\ 3\ 2$	$H=1\ 2\ 3$
295	4 снизу	$w_0 = \sqrt{\frac{V(\delta_1-\delta)^2 2g}{CF}}$	$w_0 = \sqrt{\frac{V(\delta_1-\delta) 2g}{CF}}$
304	9 сверху	$x = \frac{v_{cp}}{w_0 \sqrt{H_0}} \left[H_0^{\frac{n+1}{n}} - (H_0-y)^{\frac{n+1}{n}} \right]$	$x = \frac{v_{cp}}{w_0 \sqrt{H_0}} \left[H_0^{\frac{n+1}{n}} - (H_0-y)^{\frac{n+1}{n}} \right]$
406	15 сверху	$\mu_c = \frac{0,85}{\sqrt[30]{P}} \mu_b$	$\mu_c = \frac{0,85}{\sqrt[20]{P}} \mu_b$
409	2 сверху	$af_x = n \cdot a' \cdot b$	$f_x = n \cdot a' \cdot b$
430	16 сверху	$\sqrt{\dot{Q}_n^{0,44}}$	$\sqrt{Q_n^{0,44}}$

ПРЕДИСЛОВИЕ

Весьма радикальным средством в борьбе с наносами в гидросиловом и ирригационном строительстве являются отстойные бассейны. Это побудило автора вслед за выпуском работы «Водозаборные устройства для гидростанций и ирригации» заняться разработкой вопроса в целом об отстойных бассейнах, составляющих часто весьма значительную долю стоимости гидротехнического предприятия и являющихся наиболее дорогими в эксплуатации.

Наиболее существенными вопросами проектирования отстойников являются правильный выбор их системы, конструирование и компоновка отстойников и гидротехнических узлов в целом в связи с условиями последующей эксплуатации их, а также определение характера осаждения наносов в отстойниках и удаления их.

В связи с разработкой теории вопроса автором были начаты ещё в 1931—1932 гг. в Среднеазиатском научно-исследовательском институте ирригации опыты по выпадению наносов в потоке, тогда же выявилась и дальнейшая методика исследований. Все основные исследования по отстойникам были проведены автором во Всесоюзном научно-исследовательском институте гидротехники и мелиорации (ВНИИГим). Помимо больших лабораторных исследований, материалом для составления настоящей монографии послужили: первое издание книги автора «Отстойные бассейны»; материалы экспедиционных исследований ВНИИГим, проведённые под руководством или при участии автора; материалы его индивидуальных поездок на места для ознакомления с работой отстойных бассейнов, большие исследовательские работы ВНИИГ в этой области; материалы Московского гидромелиоративного института имени Вильямса; русская и иностранная литература, а также неопубликованные материалы научных и производственных организаций.

Помимо рассмотрения систем отстойников, применяемых в гидросиловом и ирригационном строительстве, нами использованы опыты строительства отстойников, применяемых в водоснабжении и особенно в канализации, а также в торфопредприятиях и на тепловых станциях при золоудалении. Детального освещения этих типов отстойников в настоящей работе не даётся.

Наблюдения показывают, что почти нет безупречно работающих отстойников, в большинстве случаев они имеют конструктивные и эксплуатационные недостатки, сильно отражающиеся на работе водохозяйственных предприятий. В связи с этим при рассмотрении применяемых конструкций отстойников автором уделено большое внимание компоновке водозаборных узлов, имеющих отстойники, а также гидрологическим и гидравлическим условиям их работы, порядку и результатам их эксплуатации. Поскольку механизация очистки отстойников начинает широко внедряться в практику (хотя опыт в этом отношении ещё невелик), автором этот вопрос также рассмотрен и освещён.

Большая неопределённость не только в методике расчётов и проектирования отстойников, но и самой теории, на которой они базируются, побудила автора обратиться к широким лабораторным исследованиям по выпадению наносов в потоке и по промывке их. На основании изучения литературы по данному вопросу и собственных исследований по выпадению наносов представилась возможность создать одну общую теорию расчёта отстойных бассейнов для гидростанций и для ирригации, хотя до последнего времени к теории расчёта ирригационных отстойников местные производственные работники подходили с иными критериями, резко разграничивая в этом отношении отстойники ирригационные и гидросиловые.

Весь материал представилось целесообразным изложить в трёх частях.

Первая часть посвящена преимущественно рассмотрению конструкций отстойных бассейнов. При этом целесообразно было проанализировать отдельные элементы отстойников — входные и отводные устройства, отстойные камеры, промывные устройства и пр., а затем уже рассмотреть системы отстойников в целом и условия их применения, а также результаты их производственного использования. Такое расположение материала иногда приводит к некоторым повторениям, но зато позволяет более чётко подходить к оценке отдельных систем отстойников и легче отказываться от недостатков их, заменяя при практическом применении какой-либо системы отстойника отдельные элементы его, оказывающиеся в данных конкретных условиях мало целесообразными.

Мы полагаем, что проектные организации должны не копировать выстроенные уже сооружения, а создать новые конструкции на базе положительных сторон отдельных элементов разных систем отстойников. Эти соображения и заставили автора придерживаться принятого порядка рассмотрения конструкций отстойных бассейнов.

Теперь уже для всех очевидно, что и отстойник хорошей конструкции работает плохо, если ему созданы неблагоприятные условия, в частности, неблагоприятные условия подвода воды, удлинения наносов и пр. Поэтому в первой же части, наряду с конструкциями, рассмотрены и вопросы размещения отстойников на деривации и компоновки уловов с ними.

Вторая часть посвящена опыту эксплуатации уже выстроенных отстойников; при этом имелось в виду исключительное значение в развитии конструкций и компоновки отстойников изучение их работы в действительных условиях. Здесь имеют значение не только условия работы сооружений, но и организация самой эксплуатации. Сложный порядок эксплуатации, обусловливаемый принятой системой отстойника, может привести к тому, что в действительности он не будет выполняться и тогда все преимущества данной системы отстойника могут отпасть и даже привести к худшим результатам, чем при иной системе отстойника, с более простой и дешёвой эксплуатацией.

Рассмотренные во второй части отстойники весьма разнообразны. Это позволило сделать и весьма существенные выводы как в отношении конструкций и систем отстойников, так и в отношении их размещения и порядка эксплуатации.

Во второй же части освещены и новые течения в проектировании отстойников и в принципах выделения наносов из потока, поскольку они направлены на улучшение и удешевление мероприятий по борьбе с наносами. Описание существующих отстойников и условий их работы во второй части, за исключением отстойников Малка-Кура, Куль-Арык и Форт-Ларамы, выполнены инж. Л. А. Емельяновой под руководством автора.

Третья часть посвящена рассмотрению развития теории расчёта отстойников на осаждение наносов в них, опытным исследованиям по выпадению наносов в потоках и разработке законченной теории расчёта отстойников в различных случаях практики. Предлагаемый способ расчёта позволяет устанавливать графо-аналитическим методом динамику мутности потока при самых разнообразных составах взвешенных наносов, что позволяет применять теорию и к расчёту пригационных отстойников по оптимальной мутности, пропущенной через него воды, определяемой транспортирующей способностью системных каналов. Опытный материал приведён в сводных таблицах и в весьма сокращённом объёме в целях уменьшения размера книги.

Расчёты по промывке наносов разработаны для всех, имеющих практическое значение, случаев. Учитывая большое значение непрерывно промываемых отстойников, нами разработана теория расчёта промывных устройств по системе Дюфур и предложенной автором системы отстойника. Теория расчёта промывки этой последней системы основана на лабораторных исследованиях, проведённых на ряде модельных установок.

В заключение приводятся основные выводы и рекомендации, которые можно сделать из большого опыта строительства и эксплуатации отстойников.

Настоящий труд был просмотрен акад. Б. Е. Веденевым, профессорами М. В. Потаповым, И. И. Леви и Е. А. Замариным и кандидатом технических наук А. А. Большаковым, за ценные указания которых выражаю глубокую благодарность.

ЧАСТЬ I

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ СИСТЕМЫ И КОНСТРУКЦИИ ОТСТОЙНЫХ БАССЕЙНОВ

ВВЕДЕНИЕ

Наносы, переносимые в большом количестве потоками, приносят колоссальный вред народному хозяйству, базирующемуся на водных источниках, и требуют значительных средств на борьбу с ними при осуществлении водохозяйственных мероприятий и при последующей эксплуатации их.

Насыщение потоков наносами происходит как вследствие смыва грунта с поверхности бассейна тальми и ливневыми водами, так и в результате размывов дна и в особенности берегов русел рек. Насыщение наносами потоков происходит также в результате выветривания горных пород, оползневых явлений и вследствие деятельности ветра, особенно в пустынных районах, где по поверхности земли перемещается огромное количество песка (барханы) и пыли. При земляных каналах насыщение потока наносами происходит и вследствие размыва их ложа и берегов. В связи с этим борьба с наносами может иметь самый разнообразный характер, определяемый причинами их образования.

Наносы, по характеру их перемещения, разделяются на донные и взвешенные. Этим до известной степени определяются и методы борьбы с ними при водозаборе.

В свою очередь, взвешенные наносы могут быть подразделены на опасные в отношении механического их воздействия на оборудование предприятий (турбины, насосы, трубопроводы и пр.) и на мельчайшие — опасные в отношении заиления каналов и водохранилищ, но часто полезные в качестве удобрений для орошаемых земель.

Количество и характер наносов определяются как типом реки (горные и равнинные), так и положением участка реки — верховой, средний и нижний.

Резко выделяются эти три участка в горных реках, в верхней части которых, называемой обычно сборным бассейном, происходит наиболее интенсивный размыв поверхности земли. В средней части, называемой каналом истечения, происходит, главным образом, перенос продуктов размыва верхней части и отчасти размыв берегов. В нижней части, протекающей по конусу выноса, поскольку уклоны здесь резко уменьшаются, происходит отложение наносов. Таким образом,

за конусом выноса содержание наносов, особенно донных, резко уменьшается.

Содержание наносов в потоках определяется как характером поверхности бассейна (степенью покрытия растительностью), так и основными гидравлическими элементами потока — расходом воды и уклоном дна русла, определяющим также и крупность наносов. Уклоны дна обычно уменьшаются к устью рек, потому и наносы там значительно мельче. Это объясняется тем, что крупные фракции выпадают выше по течению и, если и перемещаются, то медленно. Одновременно при перемещении по дну наносы истираются, насыщая поток мельчайшими фракциями.

Уменьшаясь в размерах, наносы могут продвигаться ниже по течению — на участки с меньшими уклонами дна. Содержание взвешенных наносов в потоке повышается вместе с расходом воды. Поэтому в паводок проносятся потоками большая часть годового стока наносов, достигающая 90% и выше. Максимального содержания наносов поток достигает несколько раньше наступления пика паводка. Этот период является самым напряжённым в отношении количества удаляемых наносов. Но наличие одновременно значительных расходов воды облегчает условия борьбы с ними, поскольку для промывки наносов имеется достаточный расход воды.

Наиболее трудным периодом борьбы с наносами при естественном гидравлическом их транспортировании в нижний бьеф¹ (без механизации очистки гидротехнических устройств) является период некоторых средних меженных расходов, когда наносы ещё передвигаются в значительном объёме, но расход воды в потоке, после отвода части его в деривацию, становится недостаточен для их транспортирования. Поэтому приходится учитывать оба периода при проектировании мероприятий по борьбе с наносами.

Количество взвешенных наносов в потоках может быть охарактеризовано такими ориентировочными данными:

Горные реки

Среднегодовое содержание наносов от 2 до 10 г/л
Максимальное паводковое содержание наносов до 50—60 »

Равнинные реки

Среднегодовое содержание наносов до 0,5—1,0 г/л
Максимальное паводковое содержание наносов » 5—10 »

Общий расход наносов в год колеблется ориентировочно от 100 до 5 000 т на 1 км² площади бассейна.

Таким образом, количество наносов настолько велико, что иногда достигает десятков и даже сотен миллионов кубических метров в год.

В результате хозяйственного использования водных источников режим твёрдого стока их нарушается на некотором участке и на более или менее значительный период времени, в зависимости от размеров возводимых на потоке сооружений (плотин) и от величины забираемого из него расхода воды.

Устройством водохранилищ, с одной стороны, создаются благоприятные условия для осветления потока, что для осуществляемого строительства является положительным фактом, с другой стороны, заиливание водохранилища уменьшает его полезный объём.

При небольших сравнительно водохранилищах (главным образом получаемых при водоподъёмных плотинах) уже через 5—10 лет (а иногда и раньше) регулирующая их способность сокращается практически до нуля, и осветляющее их действие на поток становится ничтожным. Поэтому возникает необходимость мероприятий по борьбе с проникновением наносов в деривацию. Следовательно, в данном случае возникает вопрос о сроках и степени заилиения водохранилищ и о необходимости предусмотреть своевременно меры по защите данного водохозяйственного мероприятия от наносов.

При устройстве водозаборов из горных рек при невысоких плотинах (порядка 3—5 м) нередко случаи полного завала сооружений наносами (Киргизия), так что приходится возводить новые. При этом в деривацию легко проникают не только мелкие — песчаные наносы, но и крупные — донные (галька).

В результате проникания крупных и мелких наносов в деривацию, вследствие отложения их, происходит поднятие дна каналов. Особенно интенсивное отложение наблюдается в головных участках магистральных ирригационных каналов (на протяжении 5—7 км), поскольку скорости течения в каналах обычно меньше, чем в потоках, особенно горных. Общее количество отлагающихся в ирригационных системах наносов в среднем составляет около 50% от поступающего из реки. По времени года эта цифра иногда значительно колеблется: в паводок, при большей насыщенности потока наносами, процент выпадения их в системах значительно выше 50, в межень ниже 50.

В результате заилиения ирригационных систем приходится затрачивать средства на их очистку, при которой ежегодно выбрасываются из каналов десятки миллионов кубических метров грунта. В вегетационный период при несвоевременной очистке каналов происходит недоподача воды в системы. При бетонированных каналах, вследствие достаточно больших скоростей в них, заилиение обычно не наблюдается¹, но проникновение гальки влечёт за собой быстрое истирание облицовки каналов. Так, в 1930 г. в результате случайного проникновения значительного количества гальки в Янги-Даргомский канал (68)², облицованный в головной части, произошёл прорыв канала, повлёкший за собой значительные посушки хлопка. На Мархамад-Таджикском канале (Араван-Сай), вследствие отсутствия каких-либо мер защиты деривации от проникания в неё гальки, происходило быстрое истирание железобетонного быстротока (на сбросе).

Особенно опасно проникновение гальки в напорные трубопроводы. При ослаблении стенок, вследствие истирания, происходят разрывы их, вызывающие серьёзные катастрофы, вплоть до полного сноса зданий гидроустановок. Мелкие наносы (песок), особенно твёрдых пород (кварц), представляют большое зло для насосных и гидросиловых установок.

¹ Лишь при значительных падениях скорости течения в каналах в процессе эксплуатации может произойти заилиение их, устраняемое чаще при последующем повышении скорости.

² Цифры в скобках здесь и в дальнейшем указывают номер литературного источника по прилагаемому в конце списку.

Считают, что при значительном содержании песка крупнее 0,25 мм происходит истирание лопаток направляющего аппарата и рабочего колеса реактивных турбин. Вследствие этого резко снижается коэффициент полезного действия их: за один паводок коэффициент полезного действия турбин может снизиться на 10—20% и более.

В высоконапорных гидроустановках при применении колёс Пельтона наблюдалось истирание (установка Аккерзанд) лопаток до 6—7 мм в год, при наличии наносов до 10 мм в диаметре. При наносах до 0,4 мм истирание лопаток достигало 1,3 мм в год.

Кроме крупности и минералогического состава наносов, в износе турбин и насосов играет роль и содержание их в потоке, а также общее количество их в течение года.

Для установления опасных для турбин и насосов размеров песчинок и их количества пока нет достаточно определённых данных.

Некоторые наблюдения показывают, что частицы кварца уже при $d = 0,25$ мм могут быть опасны; песок из более слабых горных пород может быть опасен при большем диаметре, порядка 0,4—0,5 мм.

Вопрос о выборе опасного диаметра частиц следует рассматривать в связи с содержанием их в потоке.

Опыт эксплуатации советских ГЭС показывает, что даже наличие известного количества более мелких частиц (0,1—0,2 мм и меньше) является опасным для истирания лопастей турбины и трущихся частей, куда проникают мельчайшие частицы. Так, на ГЭС, расположенных на реках с незначительным количеством наносов, турбины имеют коэффициент полезного действия (к.п.д.) 0,85—0,89, тогда как на реках, обильных наносами, к.п.д. турбин характеризуется цифрами 0,68—0,79. Действие наносов усугубляется ещё и тем, что вследствие истирания лопастей развиваются явления кавитации. Таким образом была выведена из строя в течение пяти лет мощная Каплановская турбина на одной из наших гидростанций, изготовленная на шведском Кристингамском заводе. В течение пяти лет через турбину пропускалось, вероятно, не менее 700 000 м³ наносов в год. Наносы истирали лопасти и стенки камеры и создавали очаги кавитаций, так что разрушения интенсивно прогрессировали во времени¹.

Наконец, следует отметить селевые явления, когда горный поток после сильного ливня в горах насыщается наносами (иногда до 40—50% по весу) и несётся с большой скоростью по каналу истечения (транспортирующее русло горного потока). По выходе из гор селевой поток растекается по долине и забрасывает наносами поля, селения, разрушает сооружения на реке, пути сообщения и пр.

Помимо непосредственного вреда (истирание облицовок каналов, трубопроводов, турбин, насосов и пр.), наносы приносят значительный ущерб ещё тем; что нарушают правильную эксплуатацию водохозяйственных предприятий. Поэтому вполне оправдываются значительные затраты, которые производятся в настоящее время по борьбе с наносами в различных отраслях водного хозяйства.

¹ Проф. А. В. Чаплыгин, «Повысить культуру эксплуатации гидростанций». Журнал «Гидротехническое строительство», № 5, 1941.

Применяемые меры борьбы с наносами в настоящее время могут быть, в основном, сведены к следующим:

1. Мероприятия в бассейне реки по укреплению поверхности путём травосеяния и лесонасаждения, организации пастбищ и пр.

2. Мероприятия по задержке наносов в верховьях рек и притоков, особенно много несущих наносов, путём устройства запруд.

3. Регулирование русел и особенно укрепление берегов в местах сильного их разрушения.

4. Задержание наносов в водохранилищах со значительной ёмкостью, обеспечивающей достаточный срок службы их.

5. Защита деривации от проникновения в неё значительного количества или только известных фракций наносов, или же осветление воды до известной мутности, путём следующих мер.

а) **Правильный выбор места для устройства отвода воды.** Особенно неблагоприятным для вывода воды является место непосредственно ниже участка с большим продольным уклоном ложа. Здесь поток, вследствие резкого уменьшения уклона, откладывает значительную часть влекомых им наносов, и река прокладывает себе русло среди своих отложений. Русло здесь неустойчиво, при разливах легко образуются рукава, река начинает блуждать: развиваются извилины, которые периодически прорываются. Прорывы служат очагами образования наносов. В связи с этим положение дна реки сильно колеблется: при развитии меандры дно русла поднимается, после прорыва её происходит размыв дна. Всё это создаёт неблагоприятные условия для отвода воды в данном районе.

На криволинейных участках наносы движутся от вогнутого берега к выпуклому и частично откладываются там несколько ниже середины кривой, поэтому отводы воды на выпуклых берегах будут неблагоприятны в отношении наносов. Благоприятным местом вывода воды будет вогнутый берег при условии достаточной его устойчивости. При впадении в реку притоков, несущих наносы в большом количестве, чем основные реки, образуются отложения их непосредственно ниже устья и у того же берега, что и приток. Основная река ещё на значительном протяжении увеличивает содержание влекомых ею наносов. Поэтому отвод воды в таких местах может обусловить усиленный захват наносов. Пороги и быстрины в потоках являются местами, где происходит взмучивание донных наносов, которые несутся на известном расстоянии ещё во взвешенном состоянии. Отвод воды непосредственно ниже порогов и быстрин может увеличить захват наносов в деривацию.

Неблагоприятным местом для отвода воды будет участок, находящийся ниже участка с сильно размываемыми берегами.

При водозаборе бесплотинного типа из побочного протока (арна на Аму-Дарье) следует обратить внимание на устойчивость её и возможность завала наносами. При достаточной устойчивости арна, при благоприятном расположении головы, несёт обычно меньше наносов, чем основной поток [Термез, Чарджоу (29)]. В этом случае арна может создать лучшие условия для защиты от наносов деривации.

б) **Компановка водозаборного узла и в частности положение водоприёмника в плане.** При водозаборе с целью ирригации или утилиза-

в) Устройство вспомогательного криволинейного канала в береге (рис. 1) или в русле путём возведения специальной захватной дамбы (рис. 2а,б) со сбросом. Здесь использован закон движения воды на кривых участках, обуславливающий поперечную циркуляцию потока,

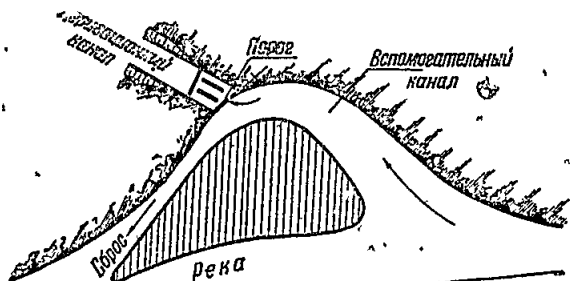


Рис. 1. Вспомогательный криволинейный канал.

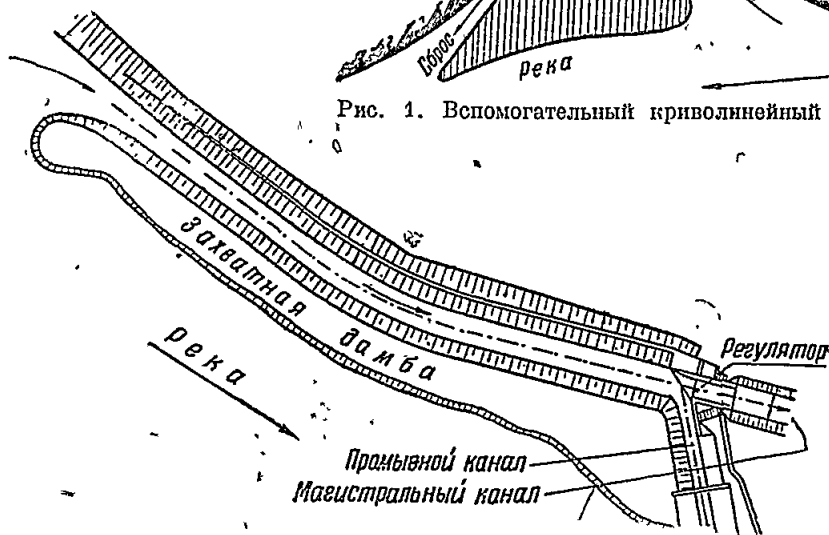


Рис. 2а. Схема водозабора Савайского магистрального канала.

10

Для обеспечения развития устойчивой циркуляции при отводе в деривацию и сброса донных наносов в реку необходимо забирать в криволинейный канал расход воды в $1\frac{1}{2}$ —2 раза больше потребного для деривации. Излишек забраный расход воды (0,5—1 расход деривации) будет служить для промывки наносов.

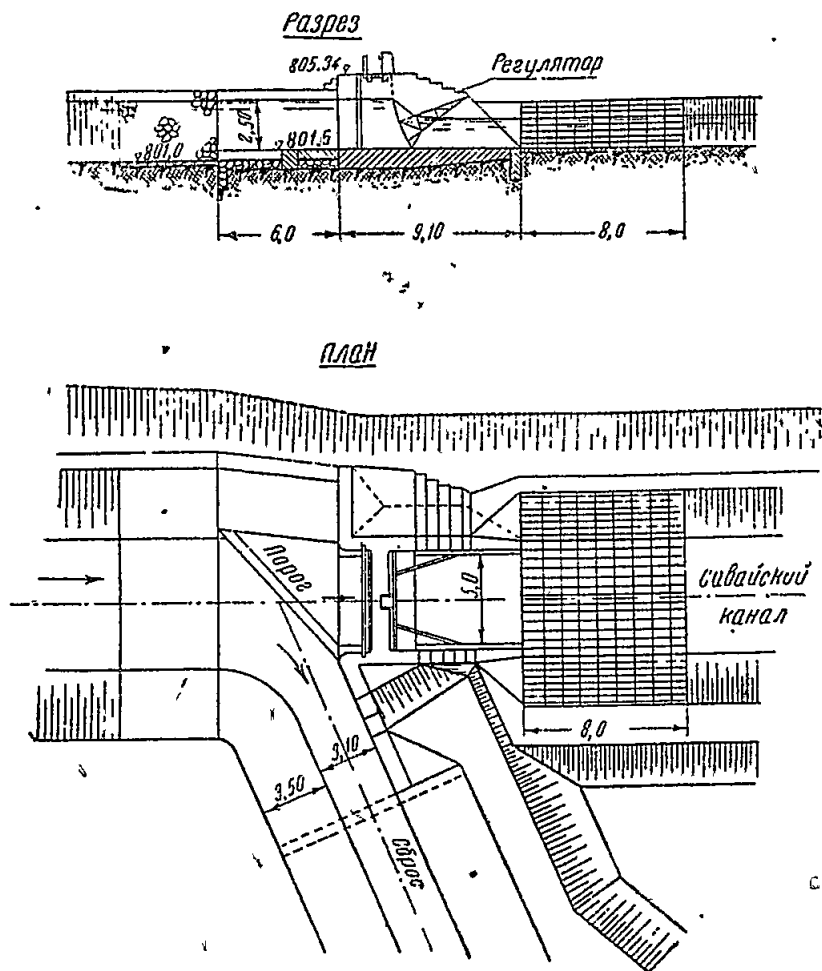


Рис. 26. Головной регулятор Савайевского канала.

Вторая схема (рис. 2а, б), использующая поперечную циркуляцию, развивающуюся при боковом отводе воды, удовлетворительно работает при том же соотношении расходов воды полезного и промывного (сбросного).

Обе схемы водозабора могут быть использованы и для частичного выделения взвешенных наносов при некотором уменьшении скоростей течения в подводящих каналах. Эта идея была с успехом использована при переустройстве водозабора Савайевского канала (Фергана).

г) Устройство впереди регулятора спиралевидной камеры (рис. 3). Здесь используется тот же закон движения воды при изгибе потока. В том месте, куда устремляются под действием поперечной циркуля-

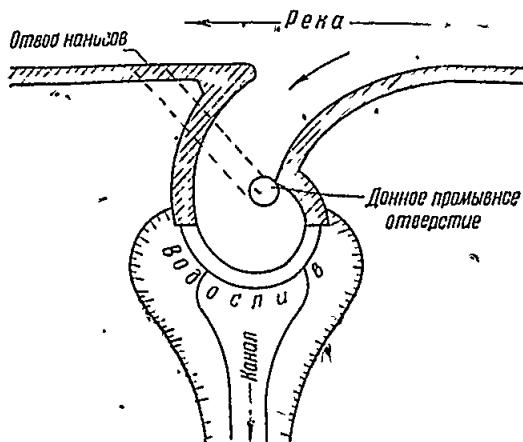


Рис. 3. Спиралевидная камера.

ции наносы, устраивается промывное отверстие, выводящее наносы через трубу обратно в реку. Промывной расход здесь значительно меньше, чем при криволинейном канале. Схема испытана на модели.

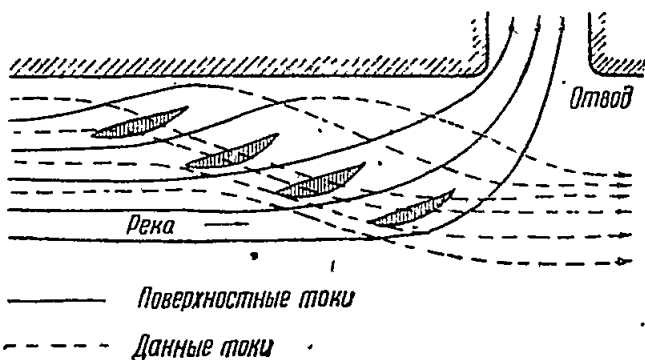


Рис. 4а. Схема действия поверхностной струенаправляющей системы.

Результаты наблюдений подтвердили возможность применения её для борьбы с донными и отчасти с взвешенными наносами, если скорости в камере будут несколько меньше бытовых.

д) Создание искусственной поперечной циркуляции путём установок в русле, перед отводом в деривацию, системы направляющих щитов — поверхностных или донных — по идее проф. М. В. Пота-

пова (рис. 4а, б). Такие системы с успехом применяются в производстве при защите деривации от завлекания в неё донных наносов.

е) Различные конструктивные меры в водоприёмных сооружениях, как-то: устройство постоянных порогов при входе в регулятор или разборчатых порогов в виде шандорного ряда, устанавливаемого в

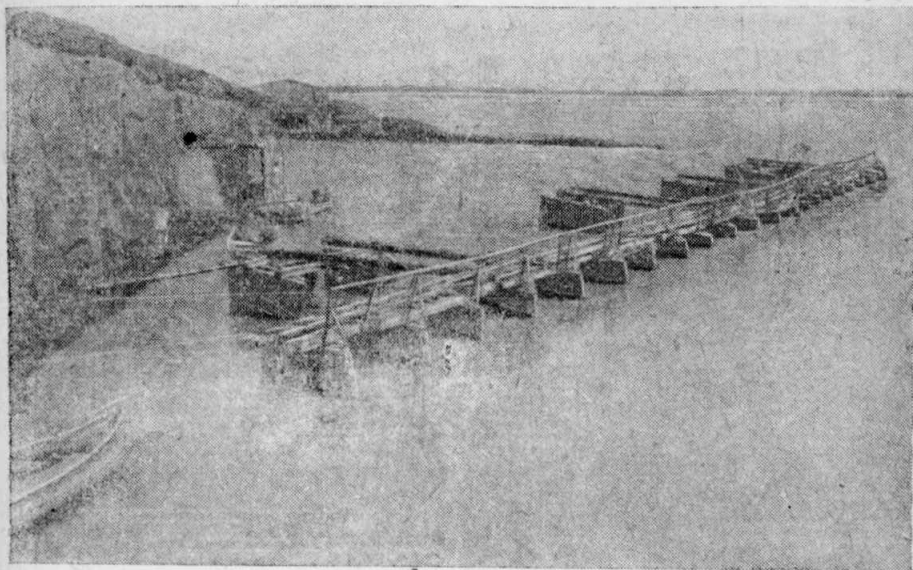


Рис. 4б. Поверхностная струенаправляющая система на реке Аму-Дарье.

наводок при входе в сооружение; устройство донных промывных отверстий во входном пороге, служащих для сброса придонных слоёв воды и донных наносов; устройство мелких решёток при входе, препятствующих доступу крупной гальке в деривацию; применение тирольского типа водоприёмника, водоприём по предложению инж. С. С. Бан (8); устройство полка, разделяющего поток на два слоя перед водоприёмником и с успехом осуществлённого в Средней Азии по предложению инж. А. В. Троицкого, и пр.

ж) Промывные шлюзы в плотинах, примыкающие непосредственно к водоприёмникам, имеющим достаточно высокие входные пороги. Периодической промывкой наносов, откладывающихся перед порогом водоприёмника, поддерживается достаточная высота порога над поверхностью отложений.

з) Устройство перед регуляторами гравиеловок, служащих для задержки крупных наносов (рис. 5а, б) и непрерывно промываемых в наводок.

и) Устройство отстойных бассейнов в начале деривации, где-либо посредине или в конце и на ирригационной системе, в зависимости от характера и положения очагов образования наносов. Отстойные

бассейны предназначены, главным образом, для задержки взвешенных наносов, а потому они часто применяются в комплексе

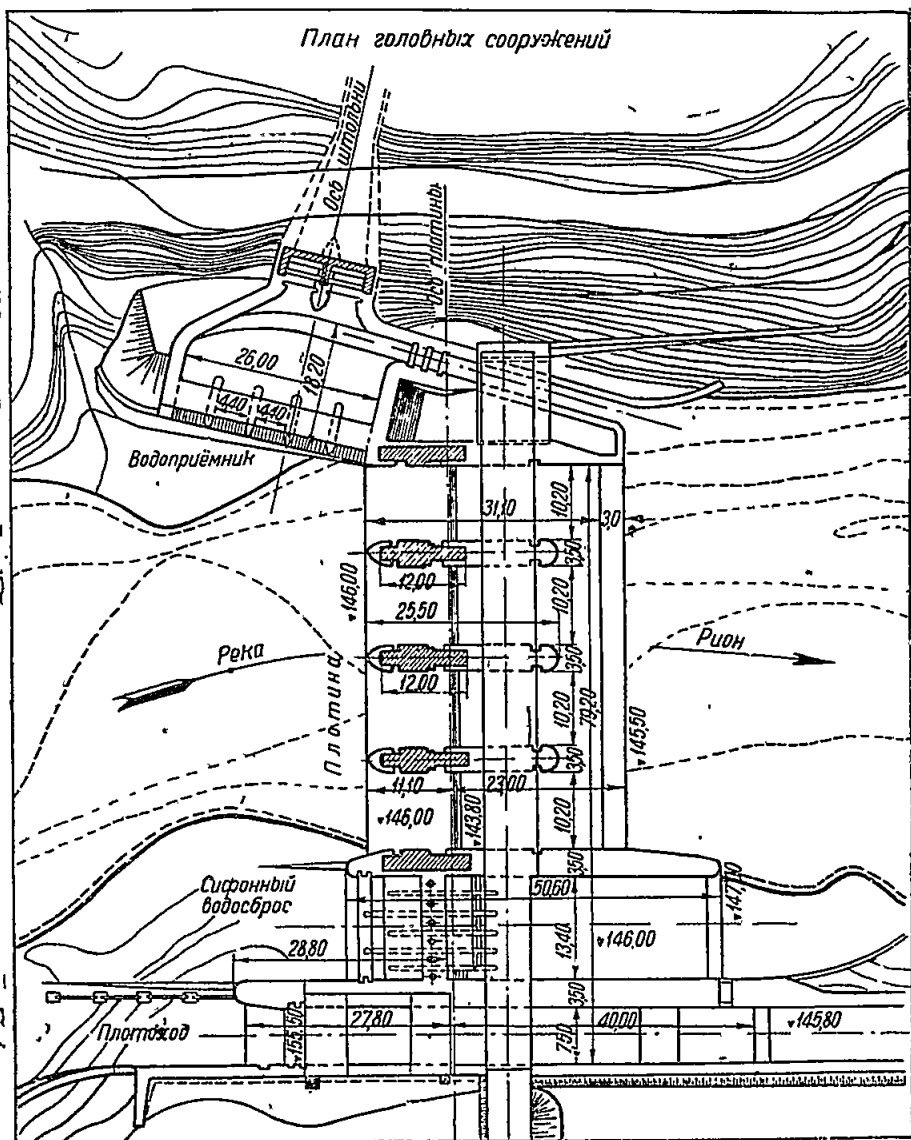


Рис. 5а. Водозаборный узел Рионской ГЭС.

с другими мерами по борьбе с наносами, в зависимости от гидрологических условий источника питания (наличие крупных донных наносов).

6. Для защиты каналов в пустынной местности от заноса песком, движущимся в виде бархан, применяются защитные решётки (подобно снегозадержательным), устанавливаемые вдоль канала со стороны дующих ветров (34).

7. Наконец, в тех случаях, когда никаких реальных мер по борьбе с наносами не принято или применённые средства недостаточно эффективны, наносы в значительном количестве проникают в деривацию и системные каналы и отлагаются в них в том или ином количестве, в зависимости от скорости течения и условий эксплуатации (главным образом, в связи с колебанием расходов воды в канале).

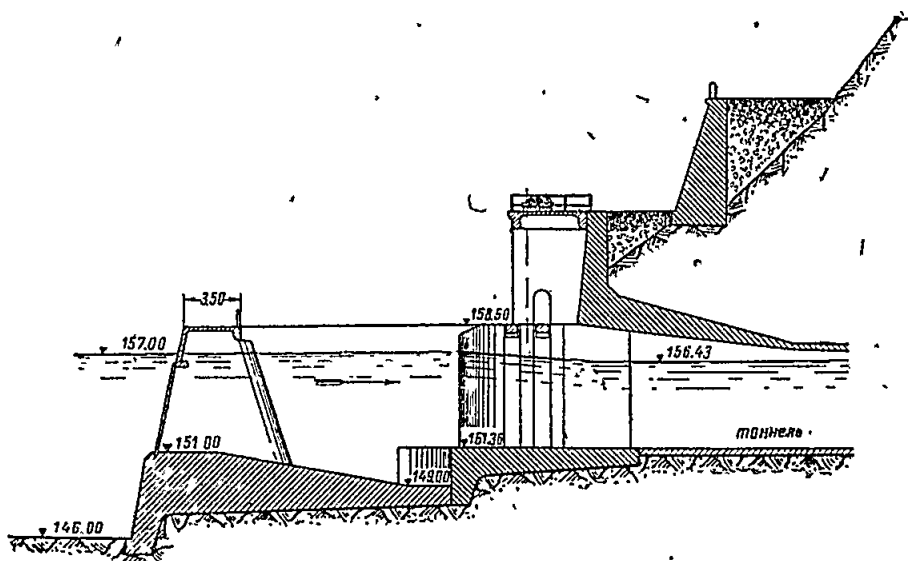


Рис. 56. Водоприёмник Рионской ГЭС (разрез).

Некоторая часть наносов из ирригационных систем выносятся на поля — это, главным образом, мельчайшие (илистые) фракции. При поддержании достаточно равномерного расхода воды в каналах их можно получать незаиляемыми. Это может быть достигнуто для магистральных каналов и распределителей с достаточно равномерной загрузкой.

В настоящее время ВНИИГиМ и МГМИ разрабатывают напорную ирригационную систему при подаче воды по трубам. Это в значительной степени упростит борьбу с наносами, устранив образование их на системах.

В утилизационных каналах мельчайшие фракции пропускаются через турбины, а более крупные (песчаные) следует задерживать в напорном бассейне и периодически промывать.

Удаление наносов из ирригационных каналов производится механически или гидравлически, путём замучивания их (при илистых наносах) и выноса на поля, когда это представляется целесообразным.

ным и даже полезным в отношении улучшения качества почвы и удобрения её. Значительная часть донных наносов может быть вынесена в сбросы (например, головные устройства Вахшской пригационной системы).

Обычно на практике приходится применять одновременно ряд мер по борьбе с наносами, поскольку очаги образования их разнообразны и разбросаны по источнику и даже сами каналы часто являются очагами образования наносов.

Меры по укреплению бассейнов и русел рек сопряжены обычно с большими затратами и требуют для их осуществления много времени, особенно при облесении бассейнов рек. Такие меры целесообразно применять при осуществлении всей проблемы использования данного источника или при значительном проценте отвода воды, когда остающийся в реке расход воды недостаточен для транспортирования всей массы наносов, включая и улавливаемые и сбрасываемые при водозаборе.

При частичном использовании источника производить капитальные работы по всему бассейну и руслу для данного предприятия нерентабельно. Поэтому обычно в таких случаях ограничиваются мерами защиты предприятия от наносов, не заботясь о мерах по сокращению их в самом источнике. Кроме того, радикальное уменьшение поступления наносов в реку может вызвать коренные изменения в положении русла как в плане, так и, главным образом, в высотном отношении, вследствие смыва дна, уклон которого до известной степени определяется количеством транспортируемых по руслу наносов. Поэтому радикальное разрешение вопроса о наносах на данном источнике должно предусмотреть и возможные последствия, вызываемые этими мерами.

В настоящее время начинают применяться различные средства защиты турбин от истирания: твёрдые сплавы для лопаток, обделка лопаток специальной резиной. Это может в значительной степени облегчить борьбу с вредными последствиями наносов при устройстве гидросиловых установок.

Глава I

РОЛЬ ОТСТОЙНЫХ БАСЕЙНОВ]

Отстойные бассейны являются местным средством защиты деривации или сети от наносов. Они не разрешают проблему наносов в целом на данном источнике, но разрешают вопрос защиты предприятия от наносов.

Отстойные бассейны являются надёжным средством защиты каналов от проникания в них наносов, поступающих вместе с забираемым расходом воды. При соответствующем их расположении на системе они могут очищать поток и по мере его насыщения наносами, поступающими извне или появляющимися вследствие размыва ложа канала.

Степень очистки потока от наносов при посредстве отстойников может быть чрезвычайно высокой, вплоть до почти полного осветления воды. Вопрос сводится к стоимости отстойника и его эксплуатации.

В различных случаях практики чаще приходится применять комплекс мероприятий по борьбе с наносами. Это зависит от характера наносов, их количества и динамики, от гидрологических условий (при недостатке воды на промывку наносов отклонение донных наносов, например, поперечной циркуляцией, может сэкономить воду на промыв или уменьшить эксплуатационные расходы на механическую очистку отстойника); от местных естественно-бытовых условий источника и места отвода воды, от характера и значимости предприятия и пр.

При бесплотинном водозаборе возможными мерами защиты дри-
вации от наносов могут служить: выбор места отвода воды и соответствующего типа водоприёмника, применение искусственной поперечной циркуляции (направляющие проф. Потапова), применение криволинейного вспомогательного канала или спиралевидной камеры, применение отстойных бассейнов и, наконец, правильная компоновка водозаборного узла сооружений.

Лишь при значительных скоростях в каналах, когда их можно получить незаиляемыми, и при безвредности сравнительно крупных фракций песка, могущих проникнуть в канал, можно отказаться от применения отстойника и ограничиться другими; указанными выше мерами, могущими оказаться дешевле и в постройке и в эксплуатации. Это возможно только при незначительном содержании наносов в потоке, что может иметь место в условиях равнинных рек, да и то не всегда.

В районах же орошаемых, где преимущественно имеются горные реки, почти всегда будет целесообразно применение; наряду с другими мерами, и отстойных бассейнов; без них вопрос о наносах не будет разрешён вполне удовлетворительно. Но зато в ряде случаев может оказаться вполне достаточной мерой применение только отстойного бассейна при соответствующих конструкциях и расположении его без применения иных противонаносных устройств. Например, бесплотинный водозабор из Аму-Дарьи, где наносы мелкие и преимущественно взвешенные, может быть вполне осуществлён при наличии только отстойного бассейна. В некоторых случаях может оказаться целесообразным применение ещё и направляющих Потапова в целях защиты подходной части канала от забрасывания её донными наносами и для поддержания устойчивости её.

Это особенно необходимо в том случае, когда берег неустойчив и отстойник не может быть расположен в непосредственной близости к берегу или встречается затруднение в укреплении входной части вследствие перемещения здесь русла реки в сторону канала.

Применение направляющих Потапова, давая значительное сокращение землечерпательных работ по отстойнику, экономически будет оправдано.

Таким образом, отстойники при бесплотинном водозаборе являются пока единственной радикальной мерой борьбы с наносами. При

наличии большого количества крупных донных наносов отстойные бассейны целесообразно применять в комплексе с другими мерами, ограждающими их от попадания донных наносов.

При бесплотинном водозаборе чаще применяется механическая очистка наносов. В этом отношении отстойные бассейны представляют известные преимущества, концентрируя наносы в определённых пунктах системы или деривации и тем создавая наиболее благоприятные условия для механизации очистки их, хотя следует отметить затруднения; возникающие иногда в связи с транспортированием удаляемых из отстойника наносов и образованием рапшей по его берегам.

При плотинном водозаборе из рек, несущих большое количество наносов, мероприятия по борьбе с ними могут быть более разнообразными и зависят в значительной степени от размеров и типа самой плотины.

При высоких водохранилищных плотинах нередко представляется возможным ограничиться наличием одного водохранилища, не применяя других мер по борьбе с наносами при водозаборе. Для увеличения срока службы таких водохранилищ целесообразно практиковать задержку наносов в вышележащей части бассейна реки и применять меры по предотвращению образования наносов в нём.

При недостаточном объёме водохранилища оно быстро заносится (иногда в течение 5—10 лет) и наносы (взвешенные и донные) начинают поступать в деривацию. При совсем низких плотинах (3—5 м) объём верхнего бьефа настолько ничтожен; что он серьёзной роли в борьбе с наносами не играет. В таких случаях применение одних отстойников часто бывает далеко не достаточно, поскольку приходится бороться не только с поступлением в деривацию взвешенных наносов, но и донных, которые здесь уже могут иметь более серьёзное значение, вследствие больших отложений их перед плотинной. Кроме того, отложения в верхнем бьефе могут нарушить условия подхода воды к водоприёмнику и ухудшить его работу; а также и отстойника, обычно примыкающего к нему.

В подобных случаях приходится иметь дело, кроме отстойников, и с промывными устройствами в плотине или водоприёмнике для удаления отложений из верхнего бьефа или из некоторой его области, прилегающей к водоприёмнику. Для борьбы с отложениями наносов в бьефах и обеспечения благоприятных условий подхода потока к водоприёмнику необходимы бывают регулировочные мероприятия в русле, обеспечивающие хороший промыв отложений через плотину.

Так, при достаточно высокой плотине на гидростанции ЗАГЭС (до 23 м) необходимо было, по условиям большой наносности рек Куры и Арагвы; устроить мощные промывные щиты (прокоп) и отстойник перед входом в деривацию. Последний, как известно, оказался вполне уместным и даже несколько недостаточен по размерам.

При низкой плотине (до 2,5 м) на реке Зеравшан (верхний узел) в целях борьбы с наносами устроены карманы с мощными промывными плузами. Но эта мера оказалась недостаточной, и песчаные

наносы (диаметром до 0,25 мм и крупнее) поступают в значительном количестве в магистральный канал и далее в ирригационную сеть. В результате получается значительная заносимость системы песком.

Американская консультация Девиса рекомендовала построить в начале Даргомского магистрального канала ещё отстойник, но это мероприятие до сего времени не осуществлено.

На реке Чирчик при невысокой плотине (около 9 м) водозабор осуществлён в виде большого многокамерного отстойника с донными промывными галлереями во входном пороге, при значительной пропускной способности щитовой части плотины, предназначенной также для промыва наносов в паводок. Все эти меры являются действительно необходимыми для обеспечения защиты деривации от наносов и сохранения благоприятных условий подхода воды к отстойнику. В подобных случаях компоновка водозаборного узла имеет чрезвычайно важное значение.

Роль отстойных бассейнов в подобных узлах является наиболее ответственной, но не решающей. Известен ряд случаев, когда применение отстойников, без достаточно удовлетворительного разрешения других сторон вопроса и деталей узла, приводило к неудовлетворительной работе не только узла, но и самого отстойника (например, водозаборы ЗАГЭС, Малка-Кура, Малокабардинский канал и др.). С другой стороны, известны также и случаи, когда пытались разрешить вопрос борьбы с наносами более дешёвыми средствами, избегая применять отстойные бассейны (такова обычно тенденция производства, нередко в ущерб эксплуатационным качествам водозабора). В таких случаях впоследствии оказывалось, что вопрос о наносах совсем не разрешён или разрешён частично. Так, например, произошло при устройстве головы Тирипонского канала, Верхнезеравшанского узла (плотина 1-го Мая) и др.

В результате на таких сооружениях обычно ежегодно затрачиваются значительные средства не только на непосредственную борьбу с наносами, но и на новые мероприятия по борьбе с ними. Эти мероприятия обычно сводятся к пристройке новых сооружений и элементов к неудачному водозабору вместо того, чтобы сразу применить радикальную меру, т. е. устроить отстойник в комплексе с другими необходимыми мерами: гравиеловки, промывные шлюзы и пр.

В ряде случаев и при плотинном водозаборе при защите деривации от наносов представляется возможным обходиться почти исключительно одними отстойниками, как, например, это осуществлено при водозаборе на ДЗОРАГЭС. При этом компоновка узла и выбор места отвода являются средствами, всегда сопутствующими основным мероприятиям по борьбе с наносами.

Как видим, отстойные бассейны в большинстве случаев являются одной из наиболее радикальных мер защиты деривации от взвешенных наносов. Все остальные меры чаще являются сопутствующими им и обеспечивающими нормальную их работу. В связи с этим изучение отстойников должно проводиться шире и глубже, чем это имело место до сего времени.

Современные отстойники часто очень громоздки при больших расходах воды, а потому дороги и в постройке и в эксплуатации. Этим можно объяснить появление за последнее время ряда новых идей по способам осветления воды, промывки наносов, механизации их очистки и пр.

Глава II

НАЗНАЧЕНИЕ И СХЕМА ДЕЙСТВИЯ ОТСТОЙНЫХ БАСЕЙНОВ

Отстойные бассейны имеют целью:

1. Осветлять поток до определённой мутности или выделять фракции наносов до известной крупности, определяемые транспортирующей способностью каналов, или степенью вредности их для механизмов. При этом должна быть обеспечена в необходимом количестве непрерывная подача воды в деривацию.

2. Концентрировать отложения наносов в определённых пунктах деривации и системы с целью создания благоприятных условий для их удаления.

3. Удалять задержанные в них наносы обратно в реку (в нижний бьеф) или в предназначенное для этого место.

Схема действия отстойных бассейнов сводится к следующему:

1. Основным фактором, побуждающим поток к отложению наносов, в современных отстойниках, применяемых в ирригации и гидросиловом строительстве, является уменьшение скорости течения при достаточно равномерном распределении её по сечению. Попытки усилить интенсивность отложения наносов путём соответствующего перераспределения скорости по вертикали (предложение Бюхи и др.) или уменьшением скорости по длине отстойника, достигаемым путём постепенного отвода осветлённой воды с поверхности потока (сильно развитый отводной водослив), пока не получили широкого распространения.

Другие средства к повышению интенсивности выделения взвешенных наносов (коагуляция, подогрев воды, центрифугирование) пока ещё не применяются в практике ирригационного и гидросилового строительства. Конструктивные меры (устройство входа и выхода воды, форма камер и др.) направлены пока преимущественно на изменение характера потока и, главным образом, на перераспределение скоростей по сечению в желательном направлении.

Осветление воды путём применения быстро действующих фильтров при больших расходах воды, с которыми приходится иметь дело в ирригации и при использовании водной энергии, пока не применяется.

2. Вследствие уменьшения скорости течения происходит задержка донных наносов и выпадение взвешенных. Эти последние отчасти могут переходить в донные и двигаться по дну при существующих скоростях в отстойнике.

3. Отлагающиеся наносы удаляются из отстойника непрерывно или периодически, в зависимости от гидрологических условий

(наличие излишка воды для промыва), принятой схемы водозаборного узла (плотинный или бесплотинный); расположения и системы отстойника. Очистка отстойника или камеры в связи с этим производится при выключении из работы всего отстойника, или чаще отдельных его камер, или при работающем отстойнике (камерах). Удаление наносов обычно производится путём смыва их водой и сброса через донные отверстия в нижний бьеф или в овраг; или же механически, чаще путём перекачки наносов и транспортирования их к месту укладки;

Глава III

СИСТЕМЫ ОТСТОЙНЫХ БАССЕЙНОВ

На характере устройства отстойников существенно отражается метод удаления из них наносов. Поэтому целесообразно систематизировать типы отстойников по группам, характеризующимся способом удаления наносов из отстойников. Это вполне целесообразно ещё и потому, что в рассматриваемых отстойниках для осаждения наносов используется один фактор — уменьшение скорости течения, и в этом отношении отстойники не могут быть разделены на группы. С точки зрения методов удаления наносов все существующие типы отстойников можно разделить на три системы:

1. Система с гидравлической промывкой наносов, применяемая в тех случаях, когда для промывки наносов может быть взят из реки достаточный расход воды в течение всего периода хода наносов без ущерба для предприятия и когда имеется достаточный перепад горизонтов воды для обеспечения быстрого и удовлетворительного смыва наносов из отстойника. Промыв наносов может происходить периодически (см. системы с периодической промывкой — рис. 37) по мере накопления их в отстойнике до установленного проектом предела, или непрерывно небольшим током воды, удаляющим наносы со дна по мере их выпадения (см. системы с непрерывной промывкой — рис. 42).

При этом непрерывная промывка обычно имеется в виду в наиболее напряжённый период хода наносов. Вмежень, когда содержание наносов в потоке сильно сокращается и расход в реке тоже снижается, целесообразно переходить к периодической промывке. Для этого отстойники должны быть соответственно сконструированы (см. систему Дюфур — глава VI).

При периодической промывке наносов необходимо иметь запасной объём на дне для отложений их за период между промывками.

При промывке же приходится снижать расход в деривации или, лучше, на это время совсем выключать её для предотвращения попадания в неё сильно насыщенной наносами воды.

Промывной расход таких отстойников обычно довольно значителен, по сравнению с непрерывно промываемыми. В паводок это может не иметь существенного значения, но в межень может значительно отражаться на подаче воды в деривацию, если в графике потреб-

ления воды нет провалов, которые могли бы быть использованы для промывки отстойников.

На гидростанциях обычно суточный график потребления это позволяет делать. В условиях ирригации промывной расход приходится предусматривать при комплектовании графика потребления воды и увязке его с гидрографом расхода в реке.

При больших расходах воды, забираемых из рек, а также при чрезвычайно мелких наносах, которые необходимо бывает осаждать в отстойниках при стремлении обеспечить незапняемость ирригационной сети, когда скорости в отстойниках приходится принимать незначительными, размеры сечения отстойников получаются чрезвычайно большими: ширина может достигать нескольких десятков метров. Промывка таких отстойников по всей ширине технически весьма несовершенна и в эксплуатации трудно осуществима.

Поэтому целесообразно в подобных случаях отстойники по ширине разбивать на секции (камеры), которые бы могли промываться самостоятельно и, в случае необходимости, совсем выключаться из работы. Разделение на камеры требует устройства продольных стенок, сильно удорожающих отстойник. Но, с другой стороны, разделённые на камеры отстойники имеют и ряд преимуществ.

1. Промывка наносов; проводимая по отдельным камерам в разное время, требует меньший промывной расход.

2. Промывка бывает более совершенная и с более высоким насыщением промывного расхода наносами, т. е. вода используется с более высоким коэффициентом полезного действия.

3. Деривация при промывке отстойника не выключается и в ней может не снижаться расход воды. Наносы в деривацию во время промывки камер не попадают, поскольку промываемые камеры полностью выключаются из работы.

4. Многокамерный отстойник позволяет регулировать степень освещения потока, путём отключения отдельных камер при уменьшении потребления воды или при уменьшении насыщенности потока наносами (в межень). Это особенно важно в ирригации, когда переосвещение потока может обусловить разрыв магистрального канала и увеличить объём работ по очистке отстойника при механическом способе удаления наносов.

5. Ремонт отстойника может быть совершён без нарушения работы предприятия — по отдельным камерам — при несколько более интенсивной работе остальных камер, нагружаемых за счёт выключенной на ремонт камеры.

Все эти обстоятельства, в свою очередь, могут обуславливать необходимость разделения отстойника на камеры.

При непрерывной промывке разделение отстойника на камеры по условиям промывки можно и не делать. Во всяком случае, разделение на камеры в данном случае не диктуется требованием деривации обеспечить непрерывность подачи осветлённой воды, так как это требование может быть выполнено при непрерывной промывке и однокамерным отстойником соответствующей конструкции. Однако существующие системы непрерывной промывки не всегда могут это обеспечить.

При больших расходах воды, когда ширина отстойника получается значительной, существующие системы (Дюфур и Д. Я. Соколова) требуют по конструктивным соображениям разделения отстойника на камеры, в противном случае дно отстойника сильно заглубляется (рис. 42). Кроме того, возможность ремонта в процессе эксплуатации также требует наличия, по крайней мере, двух камер.

Условия, определяющие число камер, изложены ниже. При многокамерном непрерывно промываемом отстойнике все камеры промываются одновременно. Это обуславливает увеличение расхода воды на промыв.

При многокамерном периодически промываемом отстойнике одновременно промывается только одна камера, что сокращает промывной расход. При соответствующем увеличении числа камер такого отстойника промывной расход его может сравняться с промывным расходом многокамерного непрерывно промываемого отстойника и даже быть меньше его. При большом числе камер периодически промываемый отстойник фактически может превратиться в непрерывно промываемый только с периодически промываемыми камерами. Это обстоятельство определяет предел числа камер.

II.* Система с механической очисткой наносов, применяемая при отсутствии достаточного перепада для гидравлической промывки, при недостатке воды в источнике питания в периоды промывок и при больших отводимых расходах воды, когда гидравлический промыв приводит к чрезвычайной громоздкости отстойника в эксплуатации и значительной строительной стоимости при большом числе камер.

Способы механической очистки, применяемые в настоящее время в различных областях народного хозяйства, довольно разнообразны. Ограничимся здесь указанием только на те, которые имеют или могут иметь практическое значение в области ирригации и утилизации водной энергии.

1. Э к с к а в а т о р н ы й. Здесь могут быть применены многочерпаковые экскаваторы: бассейн гидроустановки Брильян (101), бассейн канала Саят-Наухана в Туркмении, и одночерпаковые с разными типами черпаков: дреглайн, грейфер.

Очистка может вестись как при опорожненном бассейне (или камере), так и во время его работы. Последнее возможно при условии достаточно крупных наносов, не взмучиваемых при их экскавации. В противном случае необходимо бассейн выключать из работы на время его очистки. Если в деривацию не может быть прекращена подача воды, то отстойник необходимо в таких случаях разделить на две камеры, что вполне достаточно при механической очистке. Но, в данном случае получится стопроцентный резерв, так как каждая камера должна рассчитываться на пропуск полного расхода деривации. Поэтому может оказаться выгодным разделение отстойника на большее число камер.

2. З е м л е с о с н ы й, наиболее часто применяемый, поскольку он осуществляется во время работы отстойника и может применяться при однокамерных отстойниках, наиболее дешёвых, чем многокамерные.

Землесосы могут быть механические (с насосом) и сифонные, использующие имеющийся или искусственно создаваемый насосной установкой перепад горизонтов воды.

Примерами применения механического землесоса на реке Амударье могут служить отстойники с пловучим землесосом каналов Саят-Наухана, Кара-Бекаул и др. и на реке Лу (рис. 50) с землесосом на мостовом кране, что является более целесообразным с точки зрения обеспечения правильности работы отстойника на осаждение наносов: пловучий землесос стесняет сечение и при передвижках нарушает поток.

Примером применения сифонного землесоса может служить отстойник гидроустановки Андельсбуш, с весьма положительными результатами.

С целью обеспечить более рациональную очистку и нормальные условия работы отстойника он может быть двухкамерным, при расчёте каждой камеры на полный и частичный расход деривации.

3. Г и д р о м о н и т о р н ы й, путём смыва наносов сильной струёй воды, применяемый при опорожнении отстойника и требующий последующего гидравлического транспортирования наносов (при наличии достаточного перепада горизонтов воды) или перекачки гидромассы специальной насосной установкой (при отсутствии достаточного перепада горизонтов воды).

Наиболее целесообразно их применение при мелких наносах — песчаных и илистых. Если выключение деривации невозможно, то отстойник в данном случае необходимо делать, по крайней мере, двухкамерным.

4. С к р е б к о в ы й применяемый как во время работы отстойника (скребки Дорра, рис. 49 а, б), так и при его опорожнении (рис. 28, 29). Основная цель применения различных типов и конструкций скребков — повысить насыщенность промывного потока (при промывке) или повысить производительность насосной установки (при гидромеханизации). В зависимости от системы скребков и величины забираемого расхода воды, отстойник может быть однокамерным и многокамерным.

Таким образом, все средства гидромеханизации и скребки направлены на сокращение промывного расхода воды и на повышение концентрации наносов в нём, что при механизации очистки уменьшает мощность двигателей и сокращает расход энергии. При механизации очистки отстойников в наиболее напряжённый период их работы она может быть непрерывной и в меженное время периодической.

III. Система — смешанная — с гидравлической промывкой при механической перекачке из сборного колодца или канала (рис. 6) или, наоборот, с механической подачей наносов к месту их гидравлической промывки. Примером этой последней схемы может служить отстойник Всеамериканского канала со скребками Дорра (рис. 75, 82; 86). В ирригации начинают применять частичную гидравлическую промывку отстойников с механической чисткой при бесплотинном водозаборе.

В зависимости от величины забираемого расхода воды и других условий работы; отстойник в данном случае может быть однокамерным и многокамерным, с периодической и непрерывной очисткой.

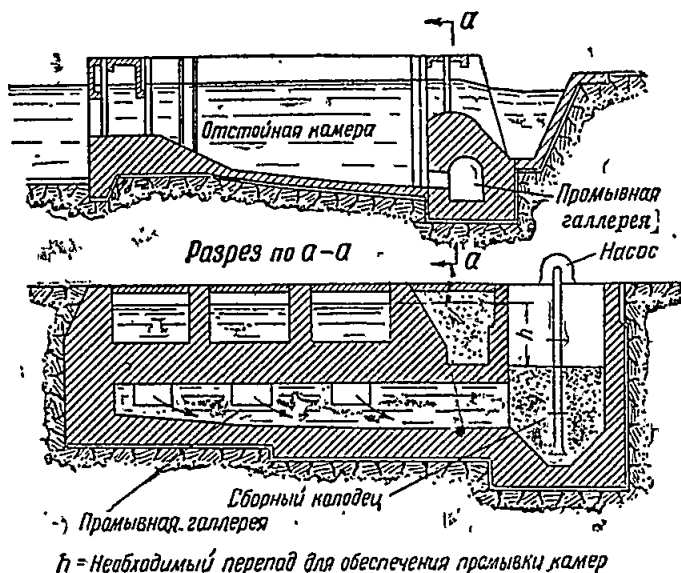


Рис. 6. Схема отстойника с гидравлической промывкой и механической перекачкой гидромассы из сборного колодца.

Любой из существующих в ирригации и утилизации водной энергии типов отстойников может быть отнесён к этой системе, если при отсутствии перепада горизонтов воды этот последний создаётся специальной насосной установкой.

Г л а в а IV

ОБЩИЕ СХЕМЫ УСТРОЙСТВА И ПРИСОЕДИНЕНИЯ ОТСТОЙНЫХ БАССЕЙНОВ

В практике ирригационного и гидросилового строительства могут быть использованы разные схемы общего устройства отстойников и присоединения их к деривации, независимо от типа и конструкции их.

В общем эти схемы могут быть сведены к следующим:

1. Однокамерный бассейн, приключённый к деривации последовательно (рис. 7).

Примером такой схемы может служить отстойник на канале Форт-Ларамии (рис. 106). Эта простейшая схема не удовлетворяет ряду практических требований.

Для промывки бассейна необходимо увеличение скорости течения в нём, чего можно достичь увеличением расхода воды в отстой-

нике, или снижением горизонта воды при постоянном расходе, или, наконец, и тем и другим одновременно. При снижении горизонта воды неизбежно будет уменьшаться расход воды в деривации, если не предусмотрено в конце его специальных регулирующих расход воды устройств.

При наличии же такого регулятора и невыключении деривации при промывке бассейна, наносы будут усиленно завлекаться в неё.

Кроме того, так как для обеспечения быстрой промывки бассейна потребуется сильное снижение в нём уровня воды, то даже при на-



Рис. 7. Последовательное включение отстойного бассейна в деривацию.

личии регулятора в конце бассейна довольно трудно (а практически нецелесообразно) обеспечивать в это время нормальный расход в деривации; тем более что при нормальном уровне в бассейне пришлось бы считаться с наличием значительного перепада при входе в деривацию, что нецелесообразно ни с точки зрения потери высоты командования, ни с точки зрения потери энергии.

Если при промывке предусматривать увеличение расхода воды в бассейне, при сохранении уровня воды в нём (или только при частичном снижении его), то при наличии регулирующего устройства в конце бассейна можно деривацию обеспечивать необходимым расходом воды (или несколько уменьшенным на период промывки), как это и сделано на канале Форт-Лараме. В таком случае всё же приходится считаться с усиленным завлечением наносов в деривацию во время промывки бассейна.

Наиболее рационально применение этой схемы с гидравлической промывкой будет при возможности полного выключения деривации на время промывки бассейна и при сравнительно небольших расходах воды в деривации. Следовательно, данная схема с гидравлической промывкой неприменима в гидросиловых установках. В ирригации, в виду возможности несколько форсировать расход воды в течение суток, представляется возможность применения этой схемы даже при полном отключении деривации на время промывки. При достаточно длинных каналах ирригационной сети временное прекращение (1—2 часа) подачи воды в систему практически не отражается на расходе воды в оросительных каналах. При более коротких каналах колебание расхода может быть учтено при комплектовании графиков полива. Однако и в данном случае схема однокамерного отстойника с гидравлической промывкой мало целесообразна, поскольку приходится увеличивать сечения каналов, придавать ложу большую прочность, так как при пуске воды в пустой канал волна движется с большей скоростью, и, наконец, усложнять эксплуатацию системы.

При невозможности выключения деривации эта схема с успехом может быть применима при механической очистке отстойника, когда удаление из него наносов можно производить во время его работы, путём применения землесосов.

2. Однокамерный бассейн, присоединённый к деривации параллельно (рис.8), исключает необходимость выключения её при промывке

отстойника, так как вода в деривацию может подаваться обводным каналом. При этом придётся считаться с усилением завлечения в деривацию наносов во время промывки бассейна. Однако общее количество завлечённых в деривацию наносов можно уменьшить; сосредоточивая промывки на периодах малого потребления воды (провалы в графиках потребления).



Рис. 8. Параллельное включение однокамерного отстойника.

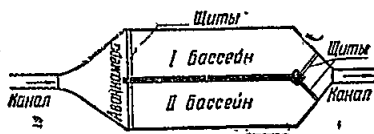


Рис. 9. Два параллельно включённых бассейна.

Таким образом, данная схема позволяет применять гидравлическую промывку наносов, наиболее выгодную в эксплуатации.

При механической очистке бассейна можно его не выключать, что особенно важно в паводковые периоды, когда при выключении отстойника на чистку может быть завлечено в деривацию большое количество наносов. Размеры отводимого расхода здесь не ограничены;

Одновременно данная схема облегчает условия ремонта, позволяя выключать бассейн на это время без остановки предприятия.

Зимой, при незначительном количестве наносов, бассейн также можно выключать, облегчая этим условия эксплуатации, устраняя борьбу со льдом в бассейне.

3. Два параллельно включённых бассейна (рис. 9).

В этой схеме могут иметь место два случая:

а) когда каждый бассейн рассчитывается на полный расход деривации. В данном случае один из бассейнов всегда будет выключён для чистки или промывки, а также для ремонта.

При большом утилизируемом расходе воды размеры бассейнов будут велики, и для промывки наносов потребуется большой расход и сложные промывные устройства. В таком случае может оказаться целесообразней применение механической чистки и, в частности, гидромониторной;

б) когда каждый бассейн рассчитывается на половину расхода деривации. Обычно в этом случае работают оба бассейна одновременно. При промывке же одного из них весь расход деривации пропускается через другой. Так как при этом скорость в нём может возрасти вдвое против расчётной, то целесообразней эту схему применять в тех случаях, когда потребление воды предприятием колеблется в течение суток, с тем, чтобы можно было промывку наносов производить в часы провалов графика потребления, когда нагрузка на один бассейн будет приемлема по условиям отстоя наносов. При таких условиях данная схема приводит к значительной экономии по сравнению с предыдущей (а).

4. Бассейн разделён на секции и приключён к деривации последовательно (рис. 10). При наличии одной запасной камеры (секции)

промывка бассейна может производиться в любое время по отдельным камерам.

Эта схема применима при любом отводимом расходе воды и при гидравлической промывке. Механическая очистка нецелесообразна, поскольку для неё нет необходимости делать отстойник многокамерным, а следовательно, более дорогим по капиталовложениям.

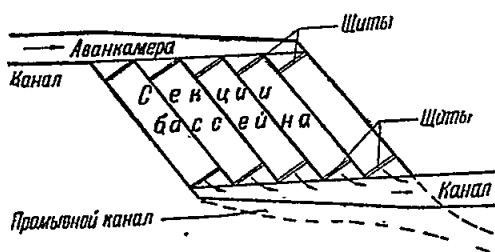


Рис. 10. Секционный бассейн, включённый последовательно.

Недостатком этой схемы является необходимость организации зимней эксплуатации (борьбы со льдом и шугой), когда чаще всего наносов в потоке нет или очень мало и бассейн представляется возможным на зиму выключать, чего данная схема не допускает. Выходом из положения является приспособление одной из камер для зимней работы — на пропуск всего расчётного расхода воды с повышенными скоростями.

Вообще же в таком случае целесообразнее будет следующая схема (5).

5. Бассейн разделён на секции и приключён к деривации параллельно (рис. 11). Эта схема имеет большую маневренность в эксплуатации за счёт некоторого увеличения стоимости из-за устройства обводного канала. Схема применяется также исключительно при гидравлической промывке наносов и при любом отводимом расходе воды.

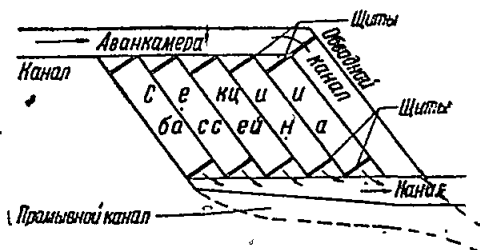


Рис. 11. Секционный бассейн, включённый параллельно.

6. Два бассейна последовательно включённых в деривацию (рис. 12). Эта схема применяется в тех случаях, когда состав наносов чрезвычайно разнообразен. Для задержки гальки не требуется отстойник большой длины; попадая в него, она вся будет выпадать в начале отстойника. Этим создаются неблагоприятные условия для работы его вследствие стеснения живого сечения в начале отстойника. Во избежание этого для приёма гальки пришлось бы делать чрезвычайно большие углубления в начале отстойника, что создаёт затруднения при промывке.

Кроме того, для промывки гальки требуется большая скорость течения. По этим соображениям для улавливания гальки устраивают-

ся специальные бассейны — карманы или гравиеловки, располагаемые непосредственно выше собственно отстойников и, во всяком случае, всегда в начале деривации, в составе водозаборного узла. В качестве такой гравиеловки иногда служит аванкамера перед отстойником, часто устраиваемая для обеспечения благоприятных условий входа в него.

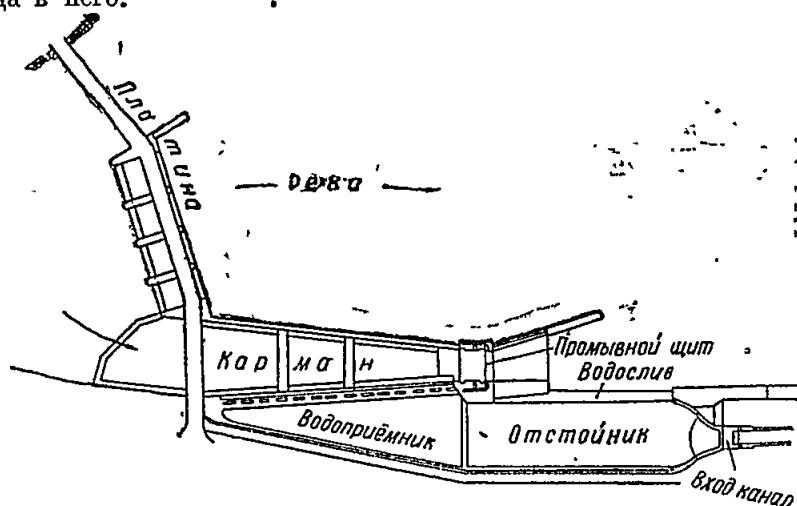


Рис. 12. Два последовательно включённых бассейна:

Такое использование аванкамеры вряд ли целесообразно, поскольку гравиеловки в паводок часто используются для непрерывной промывки гальки. При промывке гравиеловка не может служить успокоительной аванкамерой. В таких случаях может быть целесообразно непосредственно перед отстойником устраивать специальную аванкамеру или относить отстойник несколько ниже по деривации с тем, чтобы перед ним был небольшой участок канала для успокоения воды, поступающей из гравиеловки.

Данная схема применяется обычно при водозаборе из горных рек (рис. 13). Отстойный бассейн здесь может быть и многокамерным.

Так как гравиеловка всегда устраивается однокамерной, то выключение её для чистки влечёт прекращение подачи воды в деривацию. Поэтому обычно они не выключаются при промывке, что не представляет большой опасности для деривации, так как галька несётся в придонных слоях и в отстойник не проникает при наличии у входа в него достаточно высокого порога и решётки. Для механической чистки потребовалось бы устройство гравиеловок более значительных размеров для откладывания гальки слоем, необходимой при применении механической чистки толщины.

Ввиду того что большое количество гальки движется только во время высоких уровней воды в реке, т. е. относительно короткий промежуток времени, применение механизмов будет невыгодно, потому и не встречается на практике.

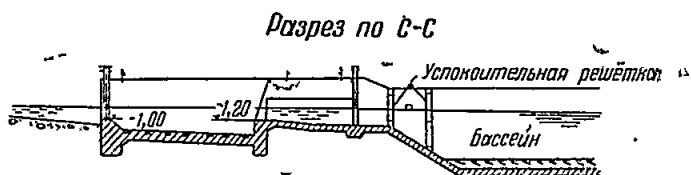
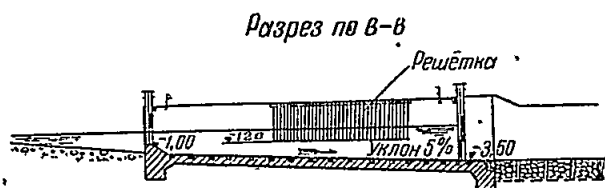
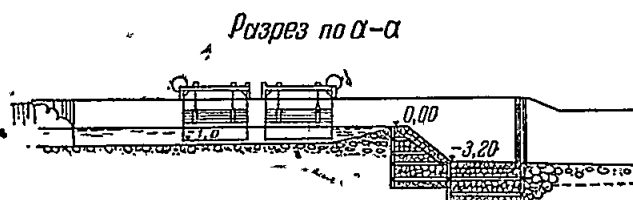
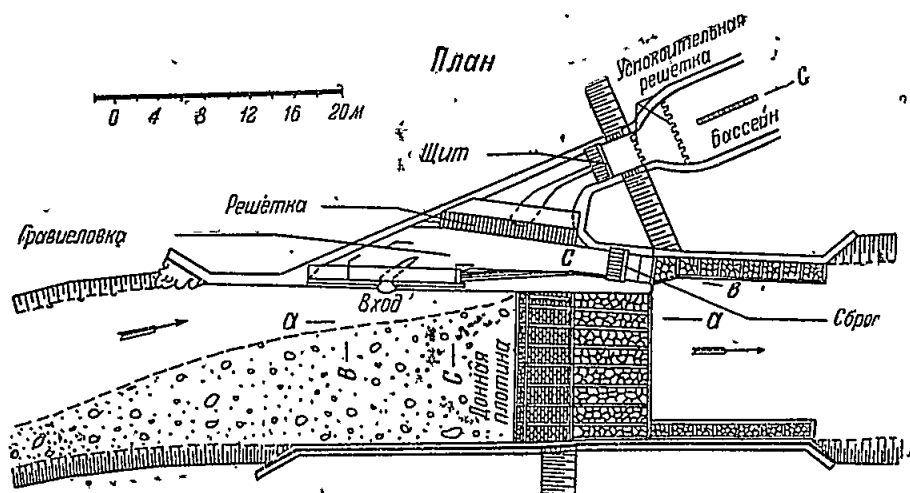


Рис. 13. Водозабор с гравеловкой.

СОСТАВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ОТСТОЙНЫХ БАССЕЙНОВ

Конструктивно отстойный бассейн может быть расчленён на отдельные части (элементы), имеющие самостоятельное назначение. Основными элементами отстойника являются следующие.

1. Отстойные камеры или секции, предназначенные для задержки донных наносов и осаждения взвешенных и соответствующей их концентрации на дне, зависящей как от состава и распределения наносов по вертикали; так и от характера средств удаления наносов из отстойника.

2. Впускные устройства, назначение которых в широком смысле сводится к следующему:

а) обеспечить равномерное распределение скоростей в сечении к началу отстойной камеры и тем содействовать наибольшему в данных условиях выпадению наносов в бассейне;

б) предохранять бассейн (камеру) от засорений плавающими телами (мусором) и льдом, когда в самом бассейне нет соответствующих сбросных устройств,

в) не допускать проникания в отстойные камеры крупной гальки, если на удаление её не рассчитаны промывные устройства или механизмы;

г) обеспечивать наилучшие условия промывки наносов;

д) давать возможность выключать бассейн или его секции на случай ремонта или очистки при отсутствии иных путей удаления наносов.

3. Отводные устройства, имеющие целью забирать осветлённую до известного предела воду без нарушения работы отстойных камер и подавать её в деривацию.

4. Средства для удаления отлагающихся в отстойнике наносов, которые должны обеспечивать непрерывное или периодическое (в определённые сроки) удаление их со всей поверхности дна отстойных камер, не допуская отложений их выше заданного предела в наиболее напряжённый наносный период—паводок. Эти средства также должны обеспечивать транспорт удаляемых из отстойника наносов в нижний бьеф или в кавальеры, в зависимости от применяемых способов удаления их—гидравлического или механического.

5. Средства для усиления отложения взвешенных наносов, имеющие целью сократить размеры отстойных камер при заданных пределах осветления потока или размерах осаждаемых фракций.

6. Средства для концентрации отлагающихся наносов, имеющие целью упростить промывные устройства и повысить насыщение промывного потока наносами.

7. Льдо- и мусоросбросные приспособления, назначение которых улавливать и не допускать в деривацию плавающие тела (мусор, лёд), семена и корешки различных сорняков, выносимых водой на поля и способствующих их засорению.

Не все из указанных элементов находят применение в каждом конкретном случае. Конструкция отстойного бассейна обычно опре-

деляется гидрологическими условиями источника (расходы и горизонты воды, режим наносов и характеристика их, засорённость потока плавающими телами и пр.), характером водохозяйственного предприятия и величиной отводимого расхода воды, наличием и характером плотины, главным же образом величиной подпора и объёмом создаваемого ею водохранилища, положением отстойника в схеме деривации и местными условиями.

Форма или конструкция отдельных элементов отстойника также подчинены указанным выше условиям и могут быть довольно разнообразными.

Приведём ниже детальное рассмотрение отдельных элементов отстойников на базе существующих или выдвигаемых исследовательскими учреждениями и производством в качестве новых предложений. Не все осуществлённые отстойники работают удовлетворительно, поэтому нельзя слепо повторять их, тем более что в одних условиях данная конструкция может оказаться приемлемой, в других — совсем неудовлетворительной. При рассмотрении конструкций отстойников мы будем, насколько это позволяют имеющиеся данные, отмечать положительные и отрицательные стороны их с тем, чтобы предотвратить в дальнейшем от повторения ошибок, которых при строительстве отстойников сделано больше, чем в других гидротехнических сооружениях.

ОТСТОЙНЫЕ КАМЕРЫ

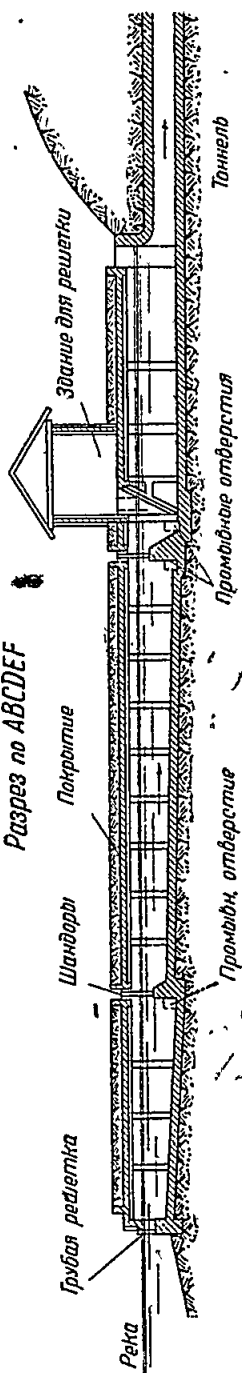
Отстойные камеры можно разделить по направлению в них потока на:

- 1) продольные, когда поток движется вдоль камеры (рис. 14);
- 2) поперечные, при движении воды поперёк камер (рис. 15);
- 3) круглые, при радиальном движении потока (рис. 16) и при вертикальном (рис. 17).

В ирригации и утилизации водной энергии применяются пока исключительно продольные и поперечные отстойники. Круглые отстойники применяются обычно в канализации и водоснабжении. Применение их в ирригационном и гидросиловом строительстве также возможно, поскольку диаметры таких отстойников в настоящее время доведены до столь больших размеров (свыше 30 м), что они могут удовлетворить запросы указанных областей гидротехнического строительства (большие расходы воды), учитывая, что такие отстойники могут ставиться батареями — по несколько в одном водозаборном узле.

Продольные отстойные камеры могут быть в плане прямолинейными (рис. 14) и криволинейными (рис. 18, 19). При этом изгиб отстойной камеры обычно устраивается, в зависимости от местных условий с целью плавного сопряжения, с одной стороны, с деривацией (рис. 19), тогда изгиб камер делается в низовой части их; и, с другой стороны, с водоприёмником (рис. 18), тогда изгиб камер устраивается в верховой их части. Изгиб камер обычно обуславливается несопадением осей водоприёмника и отстойника или деривации и отстойника. Расположение же водоприёмного сооружения определяется

Разрез по ABCDEF



План

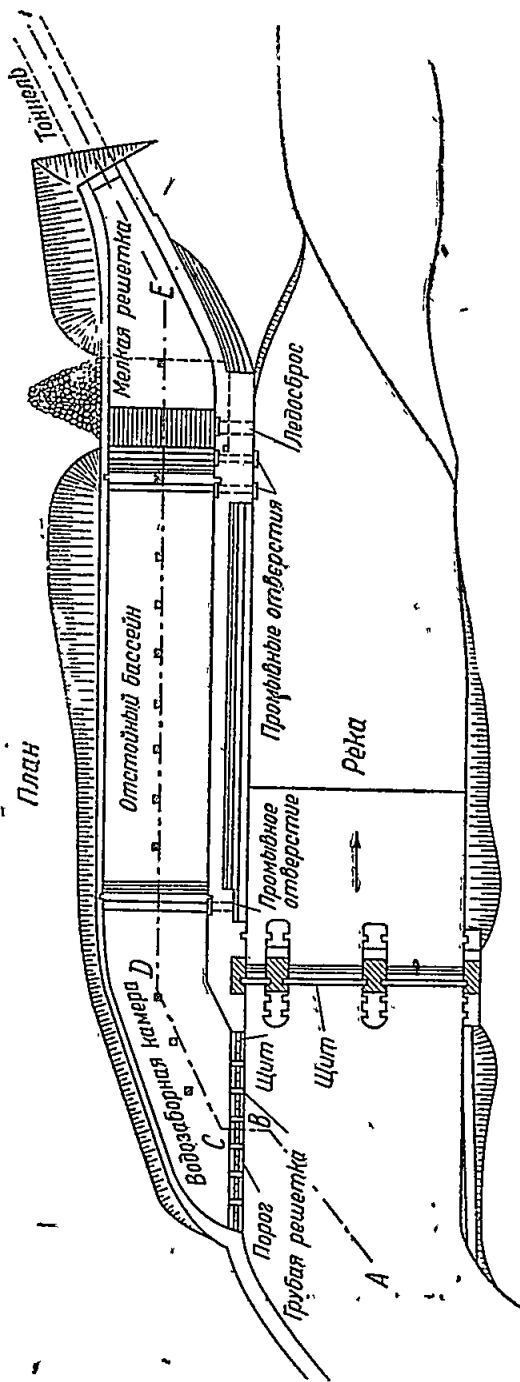


Рис. 14. Отстойный бассейн с продольной камерой. ГЭС Виглер.

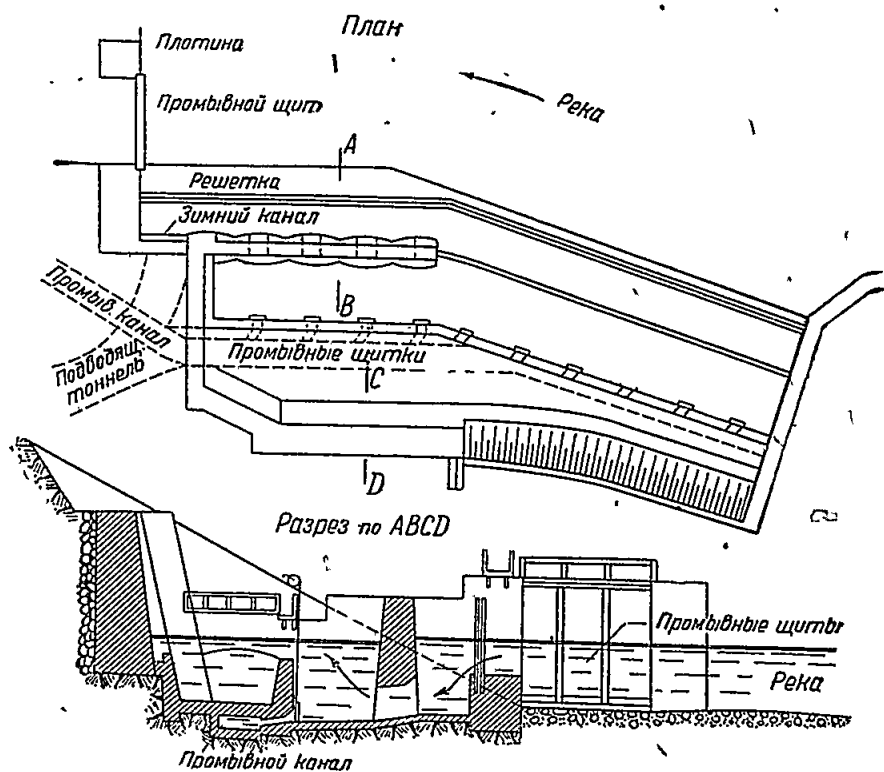


Рис. 15. Отстойный бассейн с поперечной камерой. ГЭС Лилве.

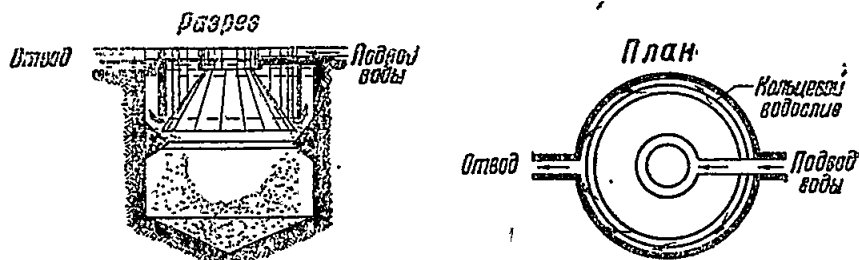


Рис. 17. Круглый вертикальный отстойник с подводом воды к центру.

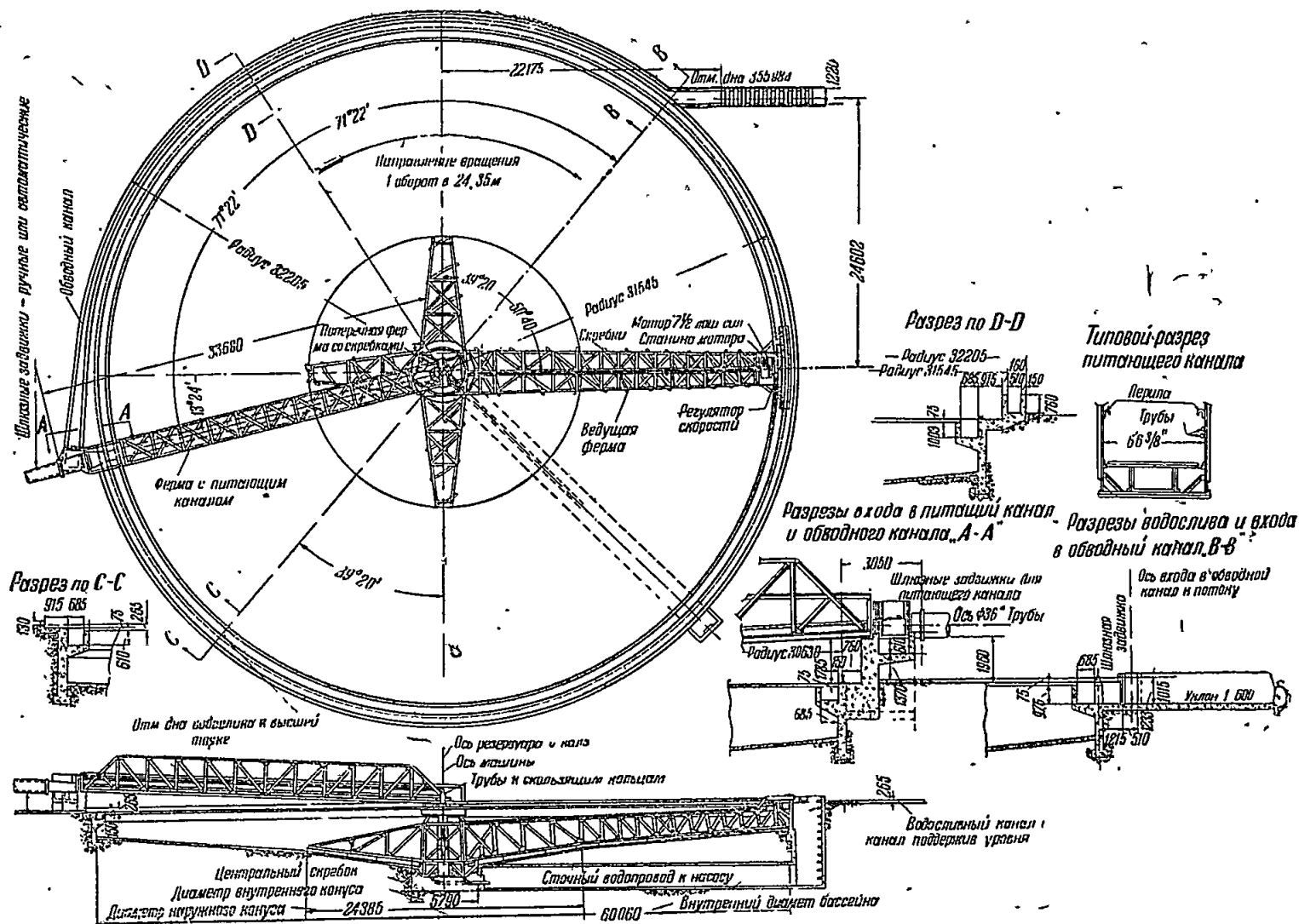


Рис. 16. Круглый радиальный отстойник со скребками Дорро.

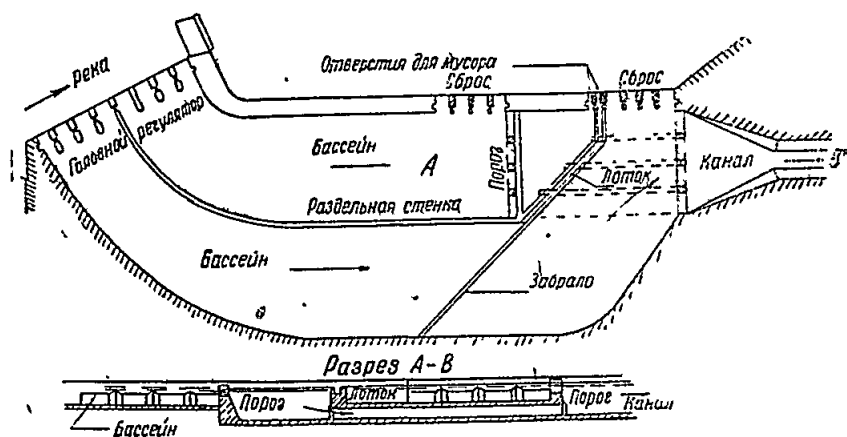


Рис. 18. Двухкамерный отстойник ГЭС на реке Арагон (Испания).

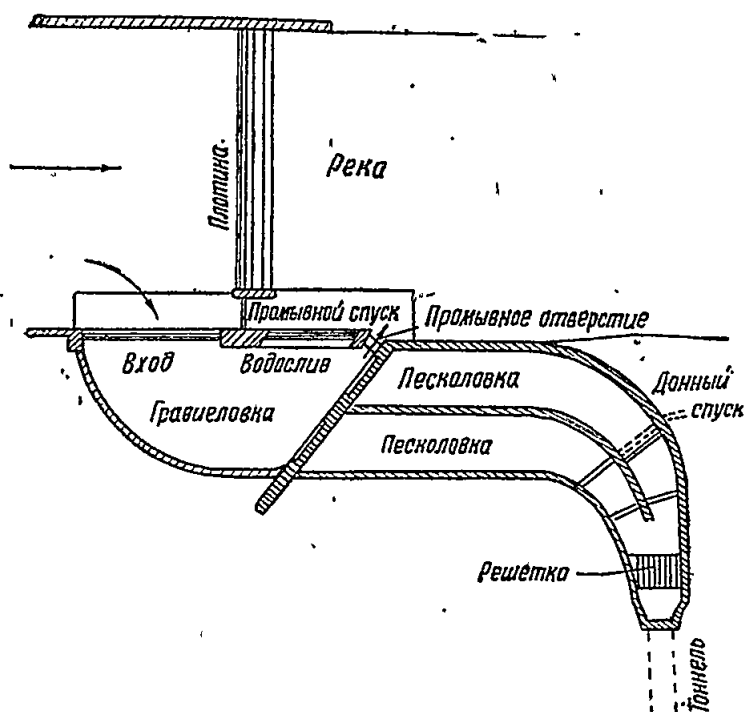


Рис. 19. Двухкамерный отстойник с гравиеловкой ГЭС Лафорого.

требованиями рационального забора воды, а положение отстойника устанавливается нередко в зависимости от местных (топографических и геологических) условий (например, отстойник ДзораГЭС), точно так же, как и направление деривации в головной части её. Эти соображения и приводили к необходимости устройства криволинейных отстойников.

Но если учесть, что изгиб отстойных камер, особенно вначале, приводит к неудовлетворительной их работе вследствие отжима потока от выпуклых стенок (см. подробное рассмотрение работы отстойника ДзораГЭС и Малокабардинского, главы VIII и IX), то в

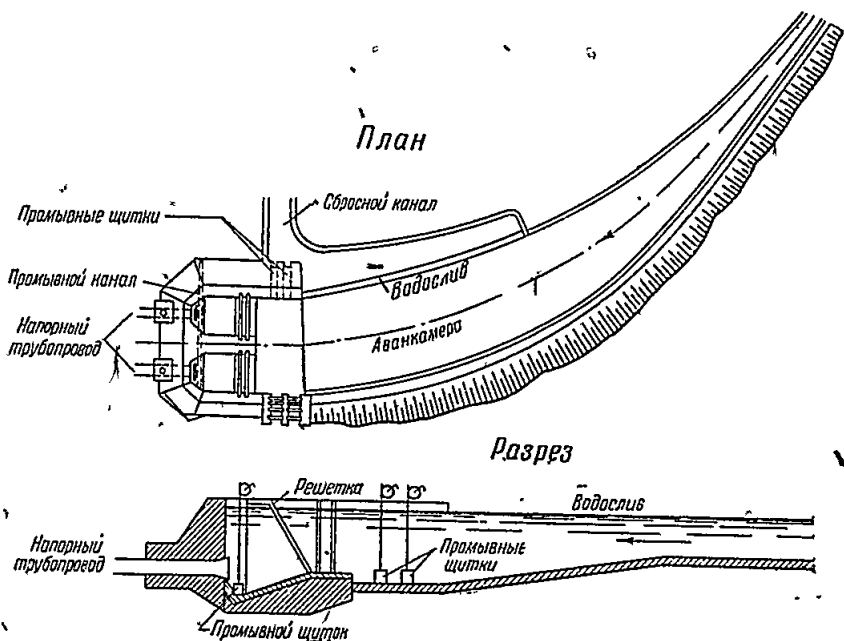


Рис. 20: Отстойник, совмещённый с напорным бассейном.

дальнейшем необходимо отказаться от подобной формы камер в плане, тем более, что и промывка таких камер идёт также значительно хуже и медленнее, чем прямолинейных. Здесь имеются в виду камеры с плоским дном и общей продольной промывкой, с успехом применяемой в настоящее время. При иных способах промывки и удаления наносов форма камеры в плане может и не иметь столь существенного значения.

В связи с изложенным, уже в последних по времени постройках отстойников эти обстоятельства учтены, и, например, запроектированный вначале отстойник Варзобской ГЭС по типу отстойника ДзораГЭС был перепроектирован в прямолинейный (рис. 110а) именно на основании высказанных выше соображений. Таким образом, местные условия не являются непреодолимым фактором, определяющим

случайные сочетания отдельных сооружений узла, приводящие к неудовлетворительной работе отстойных камер.

Меньшим злом в отношении отстоя наносов является изгиб камер в низовой части (рис. 19), поскольку здесь имеем дело с уменьшенными скоростями. Но в отношении промывки наносов (если применяется гидравлическая промывка) такие камеры также будут работать неудовлетворительно, если не предусматривается особых промывных устройств в местах застоя наносов.

В тех случаях, когда отстойник совмещён с напорным бассейном, т. е. находится в конце деривации, условия подвода воды деривацией могут обусловить необходимость изгиба отстойника (рис. 20), поскольку здесь вопрос борьбы с наносами не является преобладающим, так как напорные бассейны обычно являются вторичными отстойниками. Независимо от этого поворот должен быть плавным и не создавать отжима потока с выпуклой стороны. Когда по условиям местности плавный поворот невозможен, то отстойник делают прямолинейным, а напорные камеры для отвода в трубопроводы устраивают сбоку, подобно тому, как это сделано на Эриванской ГЭС (1) (рис. 21). Здесь несколько ухудшаются условия подвода воды к трубопроводам, но это отражается лишь на увеличении потерь напора и существенного значения не имеет.

В отношении ширины продольные камеры могут быть постоянными или расширяющимися книзу. Эти последние делаются обычно в однокамерных (рис. 20), иногда двукамерных (рис. 18) отстойниках с целью более плавного перехода от узких регуляторов или каналов к широким отстойным камерам. Постепенным уменьшением скоростей от входа в отстойник к концу его стремятся достичь более равномерного распределения их по сечению без применения специальных средств (например, раббивательных решёток при входе). Одновременно это способствует и более равномерному выпадению наносов вдоль отстойника. Но следует иметь в виду, что при всяком расширении потока у бортов получаются пониженные скорости, а по оси повышенные. Поэтому расширение камер следует делать при малом угле раствора — до $5-7^\circ$ между осью потока и бортом.

Расширение камер в многокамерном отстойнике также возможно, хотя это осложняет конструкцию входного устройства (рис. 22), но одновременно и сокращает его ширину, что имеет существенное значение при водозаборе из реки, так как уменьшается длина фронта водозабора и входного порога. А это улучшает условия промывки порога промывным шлюзом.

Расширение камер имеет и ещё одно преимущество — увеличивает длину отводного водослива. Следовательно, толщина переливающегося слоя воды на нём может быть меньше, что имеет ряд положительных сторон (см. ниже об отводных устройствах, глава V).

Подобная схема (рис. 22) возможна при относительно небольшом числе камер. В противном случае длина фронта водозабора сильно возрастет. Значительно удобнее многокамерный отстойник с расширяющимися камерами на канале, ниже головного регулятора. Схема устройства отстойника в этом случае получает вид, представленный на рисунке 23.

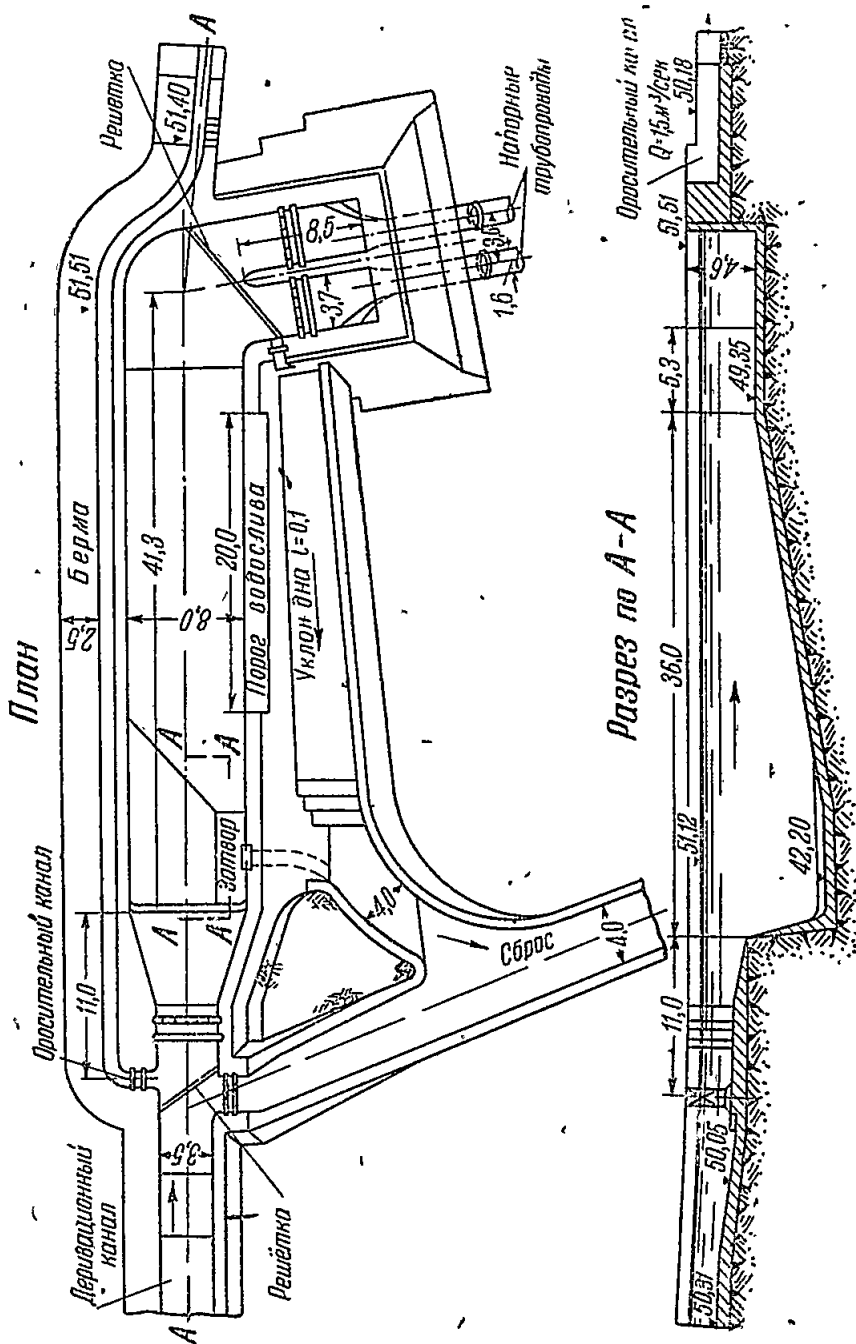


Рис. 24. Отогойник Эриванской ГЭС, совмещённый с напорным бассейном.

Принцип работы такого отстойника будет аналогичен круглому с радиальным растеканием, если стенки камер направить по радиусам.

Если сравнить длину камер расширяющихся с длиной камер постоянной ширины, при прочих равных условиях и при одинаковой средней скорости по длине, то они должны быть, примерно, одинаковыми. Следовательно, преимущество веерообразного отстойника сводится к уменьшению размеров входных устройств, к развитию длины отводного водослива и к более равномерному распределению наносов по длине камер, упрощающему конструирование дна отстойника и улучшающему условия работы его, особенно в конечный период перед промывкой (см. ниже о форме дна отстойных камер, глава V).

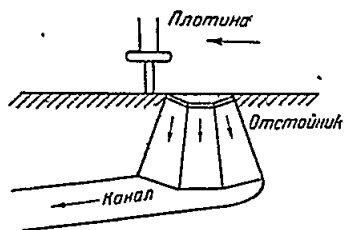


Рис. 22. Многокамерный отстойник с расширяющимися камерами в голове канала.

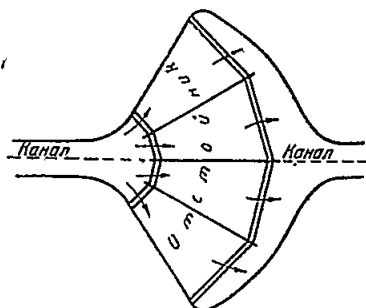


Рис. 23. Многокамерный отстойник с расширяющимися камерами на канале.

Расширяющиеся камеры не во всех существующих системах удобны с конструктивной стороны. В частности, в системах Дюфура и Соколова (рис. 42, 43) это мало рационально, поскольку расширение возможно только за счёт вертикальных стенок, но не откосов, что мало увеличивает площадь живого сечения камер (рис. 24). В этих системах значительного увеличения сечения к концу отстойника можно достичь при одновременном углублении дна. Но это последнее нерационально, так как обуславливает увеличение длины камер (см. ниже о форме дна).

Форма дна отстойных камер зависит от способа удаления наносов, от системы промывки их, а также от средств концентрации наносов на дне и будет рассмотрена ниже, одновременно с рассмотрением соответствующих устройств.

Здесь необходимо лишь отметить желательную форму дна в продольном направлении с точки зрения осаждения наносов.

Поскольку для установления длины камеры имеет решающее значение глубина воды в конце её, то углубление отстойника к концу обуславливает увеличение длины его. Построение траекторий падения частиц для разных случаев (прямой уклон дна, обратный и горизонтальное дно), приведённое нами в главе XVII; показывает (рис. 143), что наиболее выгодным в отношении сокращения длины камер является отстойник с обратным уклоном дна.

При периодической промывке наносов прямым током воды из подпитов входных устройств, обратный уклон дна неблагоприятен. Но нет препятствий с конструктивной и эксплуатационной стороны промывать наносы обратным током, как это устроено, например, в отстойнике ДвораГЭС (см. описание его в гл. IX).

Детально вопрос промывки наносов при обратном уклоне дна камер нами будет рассмотрен ниже, в разделе промывных устройств. При механической чистке уклон дна не имеет столь существенного значения.

С точки зрения характера отложений наносов в камерах с периодической промывкой целесообразней устраивать дно с обратным уклоном и даже со специальным углублением в начале, где при довольно разнообразном составе наносов получается наиболее интенсивное отложение их. Но даже и при однородных наносах (по размерам) характер отложений их получается в виде, представленном на рисунке 163, т. е. толщина слоя отложений возрастает к началу камеры.

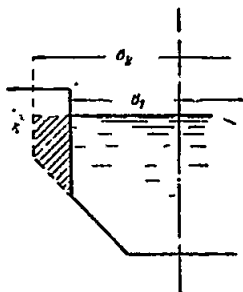


Рис. 24. Поперечный разрез камеры-отстойника с откосами.

Чтобы сечение отстойника не стеснялось отложениями в начале его, целесообразно устраивать камеры с обратным уклоном, создавая в начале их запасный объём для скопления наносов. Нами ниже (в разделе о характере отложений наносов, глава XVII) даётся способ установления вида поверхности отложений наносов для различных случаев практики.

По возможному характеру распределения наносов данного состава по длине отстойника можно установить желательную форму дна в продольном сечении, наиболее отвечающую требованиям нормальной работы отстойника на протяжении всего периода между промывками наносов.

При прямом уклоне дна или даже при горизонтальном дне камер мы неизбежно будем иметь с некоторого момента значительное стеснение живого сечения в начале их. Подобного рода картина наблюдалась нами на ряде отстойников и, в частности, на отстойнике в голове канала Малка-Кура. Изменение характера отложений наносов по

времени в этом отстойнике (камера № 3) представлено на рисунке 25 (см. подробное описание работы этого отстойника ниже, в главе X).

В связи с этим, чтобы обеспечить нормальную работу отстойника, приходится устраивать более частые промывки камер, что сильно осложняет эксплуатацию, особенно в условиях Малка-Куринаского водозабора.

В отстойниках с непрерывной промывкой наносов (системы Дюфура и Соколова) характер отложений не имеет значения при уста-

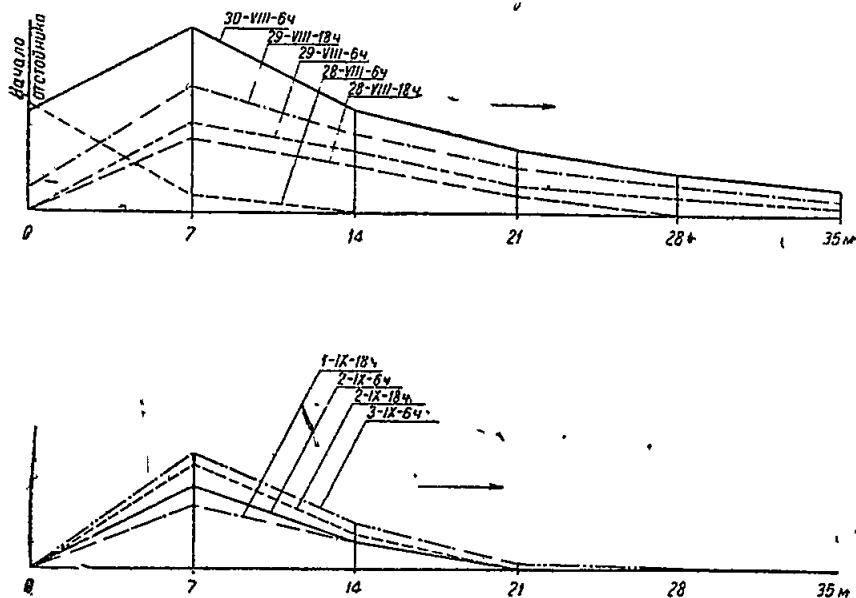


Рис. 25. Отложения наносов в камере № 3 отстойника Малка-Кура.

новлению продольного уклона дна камер. По конструктивным соображениям целесообразнее дно делать горизонтальным в продольном направлении, но конструктивно вполне осуществимы такие камеры с небольшим уклоном дна вниз по течению, порядка 0,01—0,02. Дно промывного канала в системе Дюфура может иметь свой уклон, обусловливаемый увеличением сечения вследствие увеличения промывного расхода воды по длине его.

Поперечные отстойники применяются относительно редко и, главным образом, в связи с местными топографическими условиями, когда отстойник приходится вытягивать вдоль берега реки (высокий скальный берег). В таких случаях фронт водоприёмника сильно развит, входные скорости небольшие.

Непосредственно за водоприёмником расположен однокамерный отстойник, вытянутый вдоль берега. Поскольку скорости течения малы, размер отстойника по направлению потока становится меньше, чем в направлении, нормальном к нему. Для обеспечения равно-

мерности распределения скоростей по всей ширине такого отстойника приходится устраивать распределительную стенку с донными отверстиями, как это сделано на гидроустановке Ливе на реке Романш (рис. 15). Но вряд ли одним применением такой стенки можно обеспечить удовлетворительную работу отстойника. Лишь при достаточно малых скоростях в источнике питания (высокая плотина или озеро) подобная схема может иметь успех.

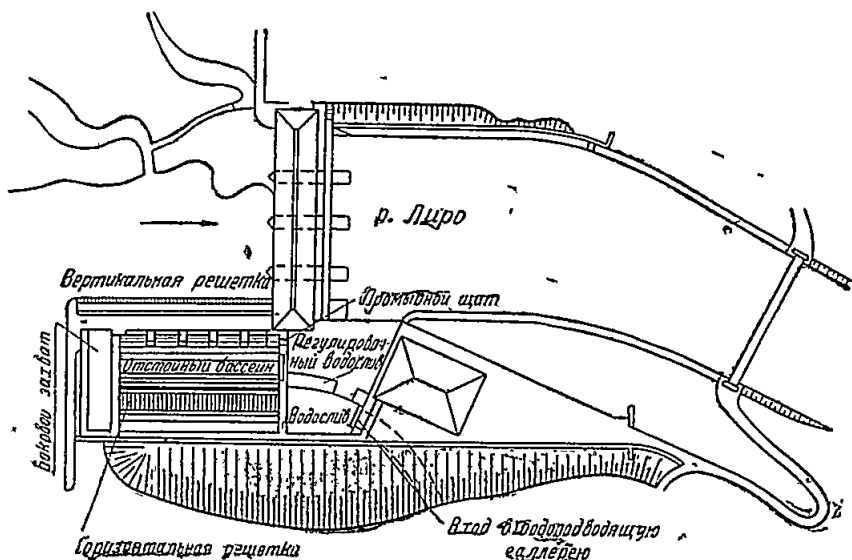


Рис. 26. Поперечный отстойник ГЭС Мезе (Италия).

Преимущество поперечных камер заключается в большой длине отводного водослива для осветлённой воды. Но одновременно с этим сильно развиты и промывные устройства, что уже является отрицательной стороной таких отстойников как в отношении строительной стоимости, так и эксплуатации.

Поперечный отстойник по несколько иной схеме устроен на гидроустановке Мезе (Италия) (рис. 26). Такого рода отстойники могут иметь применение при небольших отводимых расходах и при малых скоростях течения в реке и не могут быть рекомендованы для широкого применения, так как схемы устройства их не проверены в лаборатории на моделях, а сведений об их эксплуатационных показателях в литературе нет. Подобного рода схемы отстойников следует отнести к случайным. Значительно большего доверия заслуживает отстойник в голове Всеамериканского канала с системой поперечных камер (рис. 75), поскольку этот отстойник проработан в лабораторных условиях. Детальное рассмотрение его приведено ниже.

При подаче воды в камеры этого отстойника через щели в бортах подводных каналов скорость по всей ширине их может быть обеспечена достаточно равномерной. Длина отводных водосливов здесь сильно развита. Подобная система камер может с успехом выполнять свои функции при применении непрерывно работающих механических очистителей — скребков Дорра, сгребающих отлагающиеся наносы к промывным отверстиям, расположенным у центра вращения ферм со скребками. Короткие камеры (по течению) обеспечивают более равномерное распределение наносов по дну, что весьма существенно для работы применённых очистных механизмов.

Отстойник подобного рода оказалось возможным применить для весьма большого отводимого расхода воды $340 \text{ м}^3/\text{сек.}$, который не является пределом, как это видно из самой его схемы.

При больших расходах воды приходится иметь дело и с большим количеством отлагающихся наносов, которые, в свою очередь, требуют больших промывных расходов воды. Применение же скребков Дорра чрезвычайно сильно сокращает промывной расход, концентрируя наносы у промывных отверстий. Непрерывность промывки избавляет от необходимости иметь значительные запасные объёмы для наносов.

Круглые отстойные камеры, в зависимости от направления движения в них воды, могут быть: 1) вертикальными (рис. 17), и тогда диаметр их обычно небольшой (порядка 5—10 м), а глубина значительная; дно представляет собой перевернутый на вершину конус для концентрации наносов; применяются такие камеры в качестве песколовков, и 2) радиальными (горизонтальными) (рис. 16), когда диаметр камер значительный (достигает в настоящее время 30—35 м). Дно с небольшим уклоном к центру для облегчения сгребания наносов к промывным отверстиям в центре при посредстве специальных механизмов. Такие камеры применяются для задержания, главным образом, мельчайших частиц наносов. Скорости течения в таких камерах к периметру уменьшаются пропорционально диаметру их и обычно в условиях канализации достигают чрезвычайно малых величин (несколько миллиметров в секунду). При задержании только крупных наносов (песка) диаметр их сильно уменьшается, и отстойник превращается в вертикальный, поскольку горизонтального движения воды практически в них нет.

ВПУСКНЫЕ УСТРОЙСТВА

Состав и конструкция впускных устройств зависят от формы отстойных камер, способа удаления наносов, а также от положения отстойника как по длине деривации, так и в плане, и от общей схемы противонаносных устройств (наличие гравиеловки или кармана перед отстойником).

При продольных отстойниках конструкция входной части отстойника, в свою очередь, зависит от принятого способа удаления наносов. При механическом удалении посредством подвижных землесосов, когда отстойник обычно устраивается однокамерным и очищается без выключения, в начале его не делается никаких сооружений,

Вход представляет собой плавный переход от относительно узкого подводящего канала к довольно широкому обычно отстойнику. Дно подводящего канала сопрягается с дном отстойника довольно пологим откосом 1 : 3—1 : 5 и даже может быть в земляном русле более пологим.

В канализационных отстойниках, при неподвижной всасывающей трубе, устанавливаемой в специальном углублении в начале отстойника, где преимущественно отлагаются наносы и куда сгребаются

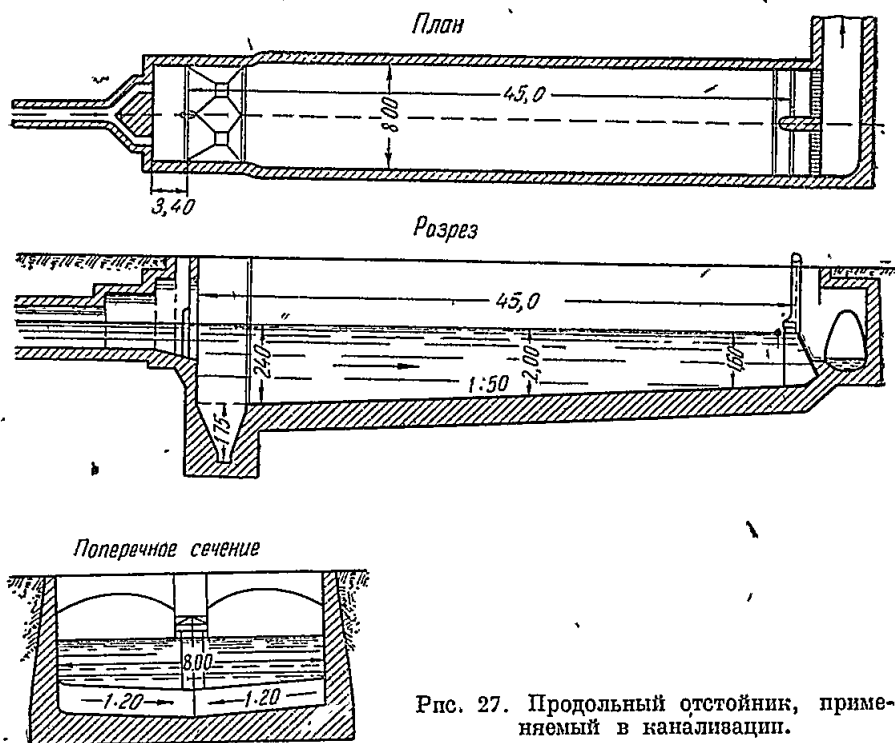


Рис. 27. Продольный отстойник, применяемый в канализации.

специальными скреперами или скребками наносы с остальной части отстойника (рис. 29), входные устройства довольно примитивны. Чаще всего здесь нет никаких входных устройств в вышеуказанном понимании (рис. 27) и иногда непосредственно перед выпуском воды в отстойник устраивается отражатель для разбивки входной струи (рис. 28). Но эта мера не может считаться удовлетворительным разрешением основной задачи входных устройств — равномерного распределения скоростей по живому сечению отстойника, поскольку отражатель отклоняет поток ко дну и создаёт большие скорости у дна в начале камеры и значительные восходящие скорости в конце ее, способствующие выносу наносов через водосливы. В поверхностных слоях здесь будут иметь место обратные течения, вследствие образо-

вания большой водоворотной зоны, распространяющейся на значительную длину— нередко до нескольких десятков метров, т. е. иногда почти до самого конца отстойника.

Без каких-либо специальных входных устройств, кроме сопрягающей части, могут быть осуществлены отстойники и с гидравлической промывкой наносов, как это и устроено на канале Форт-Ларамы (рис. 106). Но в таких случаях приходится считаться с необходимостью устраивать мощные промывные шлюзы, рассчитанные на пропуск большого расхода воды, поскольку промыв осуществляется при

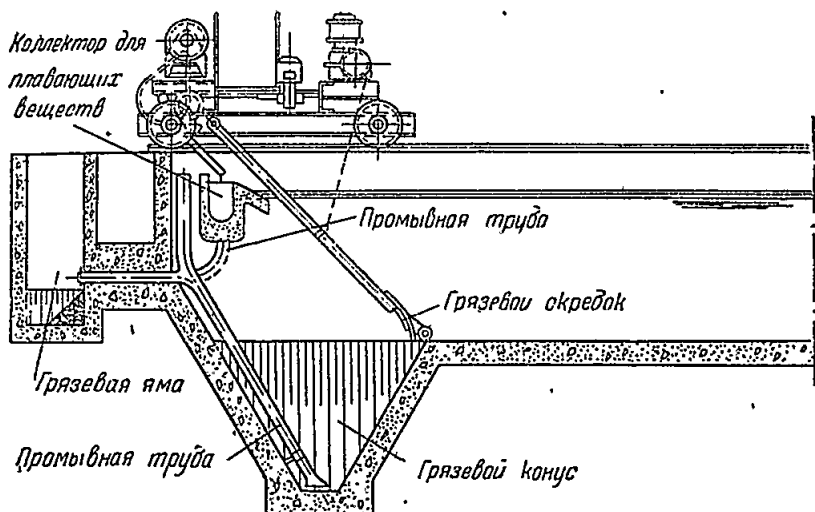


Рис. 29. Очистное устройство продольного канализационного отстойника.

сравнительно небольшом понижении горизонта воды и при значительном увеличении расхода в отстойнике для достижения промывных скоростей. При этом промывается отчасти и подводящая часть канала. Деривация на время промывки выключается или получает уменьшенный расход воды с повышенной мутностью. В последнем случае отводные устройства осложняются: необходим сильно развитый водослив со щитами для обеспечения необходимого расхода воды в деривации ниже отстойника.

Несмотря на тщательную проработку формы отстойника в плане, промывка камеры несовершенна (см. описание работы этого отстойника ниже, в главе VIII).

Целесообразнее при гидравлической промывке в голове отстойных камер устраивать регулирующие сооружения, позволяющие выключать их и промывать сильной струей из-под щита. Это значительно повышает насыщенность наносами промывной воды по сравнению с промывкой по вышеизложенному методу (отстойник Форт-Ларамы) и обеспечивает более быстрый и совершенный промыв камеры.

При однокамерном выключаемом отстойнике или при многокамерном отстойнике; обеспечивающем непрерывную подачу воды в деривацию, камеры имеют соответствующие впускные устройства, в основном сводящиеся к следующему (рис. 110, 126).

1) забральная стенка, служащая для предотвращения проникновения в отстойник льда и плавающих тел; она особенно необходима при заборе воды непосредственно в отстойник;

2) грубые, а иногда и мелкие, решётки для защиты от мусора; грубая решётка чаще ставится в тех случаях, когда водозабор делается непосредственно в отстойник;

3) щиты для выключения камер и промывки их;

4) шандоры для ремонта, а иногда и для создания высокого порога при входе в паводок;

5) порог при входе в случае забора воды из реки непосредственно в отстойник (рис. 110) или при расположении перед ним грависеловки и кармана с промывными шлюзами;

6) разбивательные решётки для выравнивания скоростей по сечению отстойника; а также для усиления донных скоростей в отстойнике Дюфур для смыва крупных наносов, отлагающихся в начале камер (рис. 42). Разбивательные решётки устраиваются из вертикально поставленных спиц. Число рядов решёток зависит от входных скоростей и степени расширения при переходе к отстойным камерам и обычно бывает достаточно в количестве 3—5 поставленных на расстоянии друг от друга 0,5—1,5 м. Расстояние между спицами увеличивается от середины к краям и берётся в пределах 0,25—0,50 м. Спицы в соседних рядах ставятся в шахматном порядке. Выполняются спицы из газовых труб, из деревянных брусков или из уголков.

Устройство высокого входного порога, выгодное также в отношении сокращения размеров щитов и шандор, обуславливает большие входные скорости и худшие условия сопряжения входа с камерами.

С другой стороны, малые входные скорости при боковом отводе воды, когда угол отвода приближается к 90° , при значительных скоростях в реке обуславливают сильные отжимы потока от боковых стен бычков и устоев и в связи с этим появляется необходимость значительных разбивательных устройств непосредственно при входе в отстойные камеры.

Таким образом, поскольку разбивательные решётки необходимы в том и другом случаях, то целесообразнее всё же при входе устраивать высокий порог, что обычно и делается.

В пределе порог может превратиться в водослив. Впуск воды в отстойник через водослив чаще осуществляется в канализации, но имеются случаи применения их и в гидросиловом строительстве (ЗАГЭС, рис. 101), а также при устройстве золоотстойников (Сталингорская ГРЭС № 10 им. Сталина, рис. 30 а, б, в).

В Земоавчальской гидростанции вода поступает непосредственно в отстойник; и водослив при входе одновременно является порогом, защищающим водоприёмник от донных наносов. Переливающийся слой воды колеблется в пределах от 2,6 до 4,4 м, т.е. довольно

Продольный разрез

48596

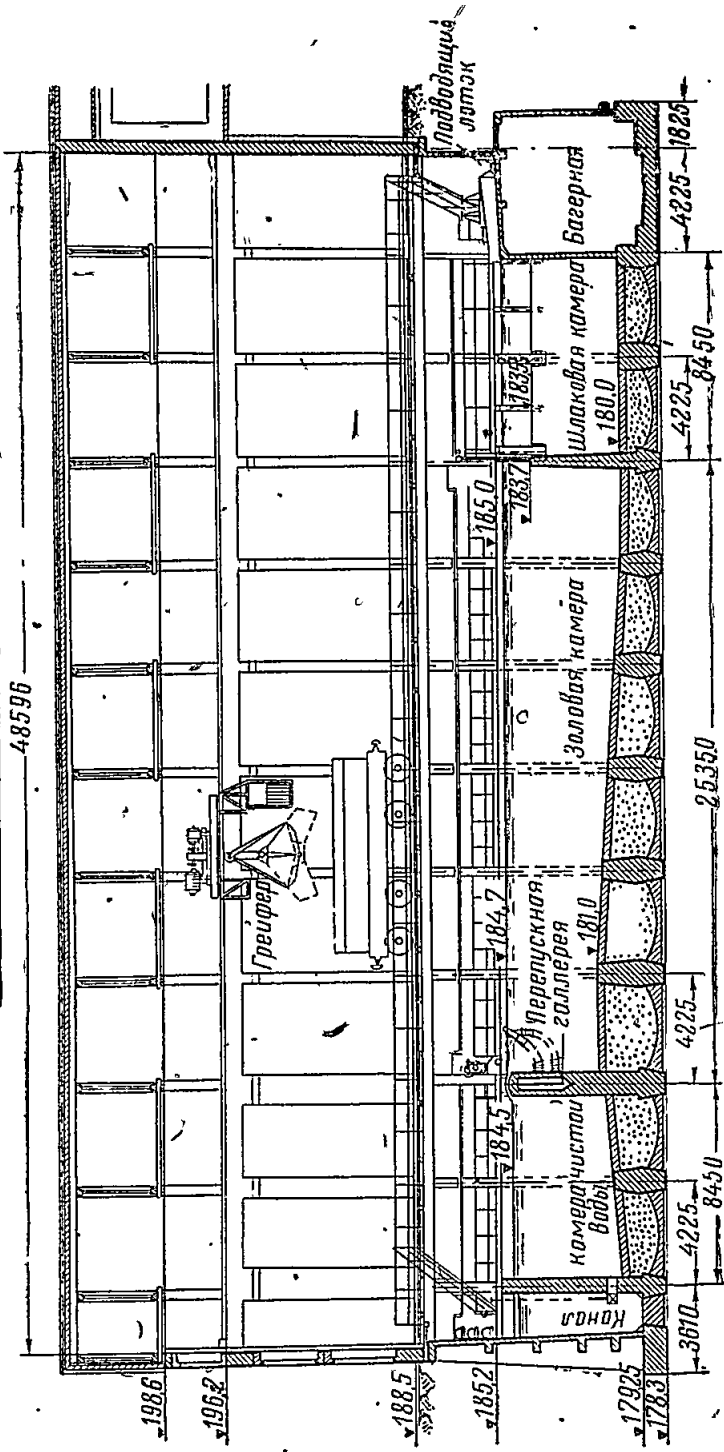


Рис. 306. Золотостойник Сталингорской ГЭС (продольный разрез).

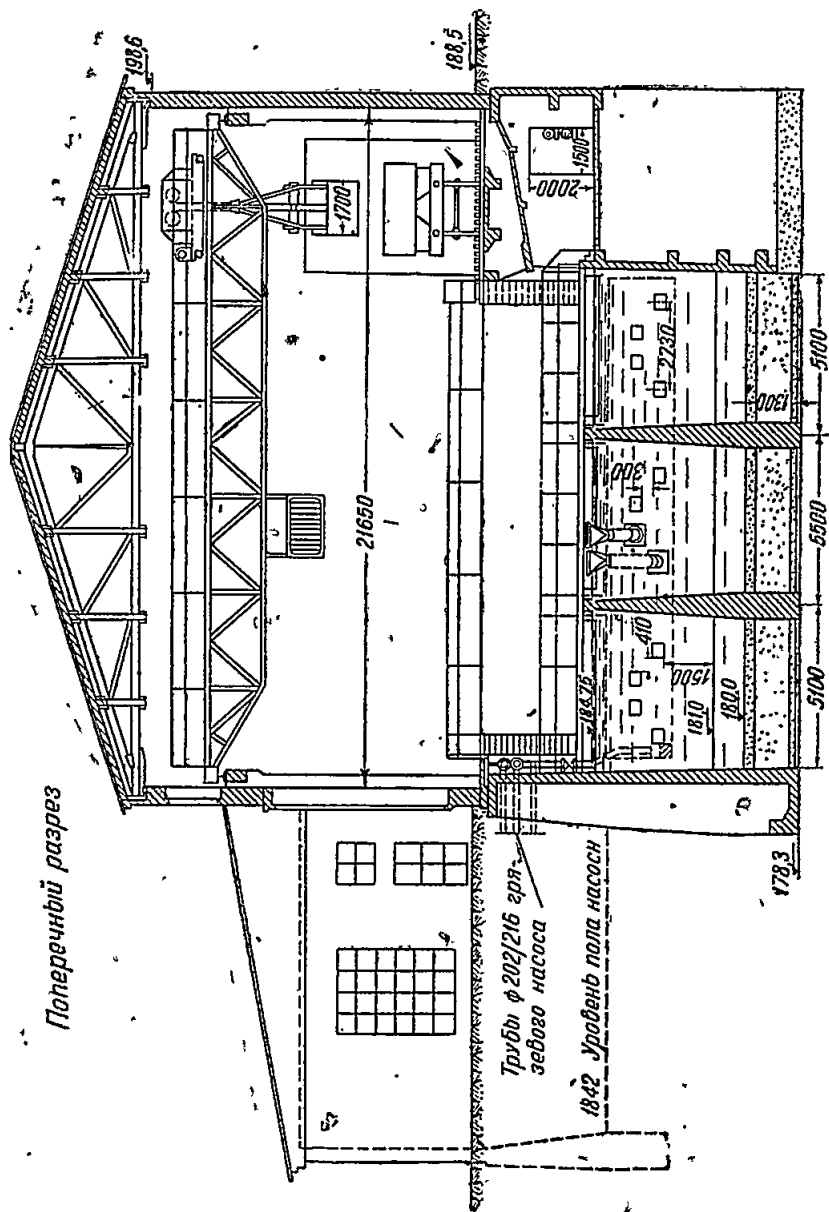


Рис. 30а. Золотостойник Сталингорской ГРЭС (поперечный разрез).

значительный, что обуславливает, при большой длине водослива, очень малый перепад. А это, в свою очередь, определяет режим потока в отстойнике. По опытам Гиндеркса (93) и нашим¹ с золоотстойниками режим потока будет меняться в зависимости от перепада следующим образом.

При незатопленном водосливе и даже при малом подтоплении струя будет ниспадать с водослива и пойдёт по дну отстойника, а в поверхностной зоне будет водоворот с обратным течением на поверхности воды. При затопленном водосливе и при тонком переливающимся слое воды (большие входные скорости) струя пойдёт по поверхности потока, и тогда водоворот образуется в нижней части его с обратными скоростями у дна. Нам удалось путём срезки водослива достичь такого состояния потока, когда он довольно равномерно распределяется по всему сечению отстойника на небольшом расстоянии от входного водослива. Это получается при значительном переливающимся слое воды и при незначительном перепаде. Такая же картина наблюдается в отстойнике ЗАГЭС, поскольку в нём как раз имеется большая высота переливающегося слоя и малый перепад (см. описание его работы в главе VIII). Но косое направление потока при подходе к водоприёмнику ЗАГЭС и отсутствие каких-либо разбивательных устройств за водосливом отражаются на характере потока в отстойнике. В нём наблюдается довольно неравномерное распределение скоростей и даже есть водоворотные зоны, а в связи с этим отложение наносов по дну даже по ширине отстойника чрезвычайно неравномерное.

Отсутствие при входе в отстойник щитов не даёт возможности полностью промыть его без снижения уровня в верхнем бьефе, т. е. без остановки гидростанции.

Правильнее было бы применить в данном случае многокамерный отстойник.

Многокамерные отстойники обычно имеют значительную ширину и при совмещении их с регуляторами (рис. 65) при постоянной ширине камер обуславливают большую ширину входа, что затрудняет промывку входного порога. При промывке его промывным шлюзом в плотине появляются большие касательные скорости, создающие неблагоприятные условия входа, которые не удаётся ликвидировать даже при значительных разбивательных устройствах перед камерами. Эти явления усиливаются при применении раздельных стенок перед входом (карманов с промывными шлюзами). Для устранения или ослабления указанных явлений отстойник располагают под некоторым углом к потоку (порядка 50—60°), несколько вреза я его в берег (рис. 125).

Получающаяся в результате такого размещения пазуха перед входом будет заноситься наносами. Для устранения этого и вообще для борьбы с донными наносами, во входном пороге устраиваются промывные отверстия, так что в данном случае при промывке отложений перед порогом касательные скорости относительно водоприёмника

¹ Отчёт Московского гидромелиоративного института (1935 г.). Опыты проводились инж. Емельяновым под нашим руководством.

не появляются и распределение скоростей в камерах получается достаточно равномерное даже при отсутствии разбивательных устройств. Лишь в паводок при открытии плотины можно ожидать некоторого ухудшения условий входа.

Картина потока в камерах в значительной степени будет зависеть от величины врезки сооружения в берег при заданном угле отвода, и вообще она будет меняться в связи с изменением гидрологических условий потока (межень, паводки). Положение отстойника в таких случаях целесообразно устанавливать на модели в лабораторных условиях одновременно с разработкой необходимых мер по обеспечению равномерности распределения скоростей в камерах в различных условиях его работы.

В отстойнике Аджарисцхальской гидростанции выпуск воды, после длительных модельных испытаний, был осуществлён с аванкамерой специальной формы (рис. 128), которая является успокоителем воды, особенно в период промывки отложений наносов перед входом, когда появляются большие касательные скорости. Так как в аванкамере можно ожидать отложений наносов, то она сделана промываемой (см. описание в главе XI). Устройство аванкамеры явилось здесь особенно необходимым в связи с тем, что поток направляется специальной отбойной шпорой на входное сооружение для обеспечения смыва донных наносов в промывной шлюз. Это обусловило значительные касательные скорости, чрезвычайно неблагоприятно отражающиеся на работе отстойных камер.

Применение аванкамер перед многокамерным отстойником следует признать довольно радикальной мерой по обеспечению благоприятных и, главным образом, устойчивых условий входа в камеры, особенно при водозаборе в отстойник непосредственно из реки.

Но конструкция аванкамеры Аджарисцхальского отстойника не может быть признана типовой и без проверки на модели перенесённой на другие объекты, поскольку она разработана для специфических условий потока и формы входа в плане при наличии регулировочных мероприятий в русле.

Аванкамера, представленная на рисунке 64, может иметь более широкое применение. Однако и здесь имеется серьёзный недостаток, заключающийся в том, что гравиеловка, устраиваемая непосредственно за водоприёмником (перед аванкамерой), будет плохо промываться. Лучшим решением следует признать устройство промывки аванкамеры-гравиеловки в Аджарисцхальском отстойнике, где имеется специальное донное впускное отверстие для усиления смыва отложений в аванкамере.

Многокамерный отстойник на деривации, когда ось его совпадает с осью канала (рис. 62), требует устройства аванкамеры для сопряжения с подводющим каналом. Но скорость течения в такой аванкамере даже при горизонтальном дне будет резко уменьшаться, и непосредственно перед входом в отстойник будут происходить отложения наносов, которые потребуют специальных промывных устройств. Для предотвращения этого необходимо скорости в аванкамере иметь, по крайней мере, равными скорости в подводящем канале. Для этого дно её должно иметь обратный уклон.

При очень широком отстойнике глубина в конце аванкамеры может оказаться, очень малой, и сопряжение её с отстойником по дну встретит конструктивные затруднения.

Поэтому целесообразнее в этом отношении аванкамера по рис. 64, где постоянство скорости легко достигается.

Вход в аванкамеру обычно ограждается забралом и иногда ещё грубой решёткой. В более ответственных объектах можно предусмотреть ещё шандоры.

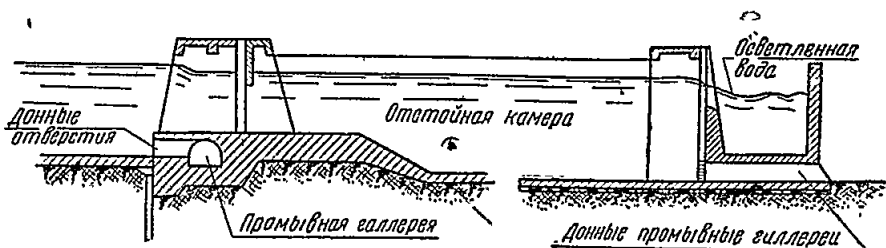


Рис. 31. Отстойник на реке Колорадо с донными промывными отверстиями во входном пороге (проект).

При расположении входа в отстойник навстречу потоку (рис. 116) иногда не делают почти никаких входных устройств, полагая, что верхний бьеф является достаточно хорошим успокоителем. Лишь для защиты от льда на концах отдельных стенок укреплено забрало, направленное наклонно к порогу для самоочистки. Но в действительности вход по течению без успокоительных и разбивательных устройств может не обеспечивать равномерности скоростей в камерах при неблагоприятных условиях подхода потока, что мы и наблюдаем не только в Чуйском отстойнике, но и в Малка-Куринском с таким же расположением входа (рис. 120) (см. описание его в главе X). Забральные стенки впереди лишь ухудшают условия входа.

Поэтому и при указанном расположении отстойника (навстречу потоку) необходимы меры по выравниванию скоростей в камерах. Опыт эксплуатации Чуйского и Малка-Куринского отстойников (см. описание, часть II) показывает, что для промывки камер необходимо также устройство при входе в них щитов, позволяющих производить промыв малым расходом воды без сработки верхнего бьефа и в более короткий срок. А для предотвращения проникания в отстойник донных отложений верхнего бьефа можно устраивать входной порог с донными отверстиями, подобно тому, как это было запроектировано в отстойнике на реке Колорадо (рис. 31).

Использование промывных щитов отстойника для сброса паводковых вод и вообще излишних вод, как это имеет место на Малка-Куре, вредно отражается на работе камер. При сбросе излишней воды даже через одну камеру нарушается равномерность подхода воды к остальным камерам, особенно соседним с используемой для сброса. При сбросе же воды через все камеры роль отстойника в нап-

более ответственный период сводится к нулю. Поэтому следует признать правильным, что в следующем сооружении подобного рода на реке Баскан (Баскан-Малка) устроен специальный сброс, являющийся одновременно и промывным сооружением для прилегающей к отстойнику области верхнего бьефа (рис. 122) (см. описание в главе X).

В поперечных отстойниках, когда вода поступает непосредственно в них (рис. 15), особенно трудны условия для получения равномерности распределения скоростей по сечению. В отстойнике установки Ливе для этой цели, непосредственно за входом, установлена забальная стенка с отверстиями у дна. Этим также стремились наносы приблизить ко дну и облегчить их выпадение за стенкой. Но устройством стенки сильно сократили полезную длину отстойника (по течению). Остающаяся за стенкой часть отстойника может служить лишь для задержки крупных наносов: гальки, крупного песка. Отсутствие каких-либо мер при входе для усиления промывки наносов, несомненно, отразится на работе отстойника и затруднит его эксплуатацию. Но устройство щитов при входе, с другой стороны, сильно удорожило бы водозабор.

Впускные устройства отстойника Всеамериканского канала, расположенного на деривации ниже водозаборного сооружения, представляют ряд щелей, расположенных по всей ширине камер. Подвод воды к камерам осуществляется каналами двустороннего действия, так что один такой канал обслуживает сразу две соседние камеры, в бортах этого канала и устроены щелевые выпуски (рис. 77, 78). Форма щелевых выпусков в плане криволинейная, обеспечивающая наименьшие потери напора и соответствующее направление струй в отстойных камерах.

Следует отметить, что сосредоточенные в отдельных местах выпуски воды будут обуславливать в начале камер неравномерное распределение скоростей и образование водоворотных зон в промежутках между щелями, поскольку расстояние между ними довольно значительное—2,13 м.

Принятая схема подвода воды позволяет выключать камеры парно и регулировать расход воды в них посредством сооружений, устроенных в начале каждого подводящего канала. Такое расположение регуляторов обеспечивает небольшие их размеры и относительно небольшое количество. Но при этом приходится считаться с необходимостью выключения сразу двух смежных камер при остановке работы одной из них.

Наличие механизации очистки камер здесь с полным основанием позволило не иметь во входных устройствах щитов для усиления гидравлической промывки наносов.

При круглых отстойных камерах подача воды производится к центру их.

При вертикальных отстойниках обычно вода подаётся сверху, а для равномерного распределения её по периферии камеры, где она будет иметь восходящее течение, устраивается цилиндр с разбивательным у нижнего его конца конусом (рис. 17), или вода подаётся в вертикальную трубу с раструбом на конце и иногда

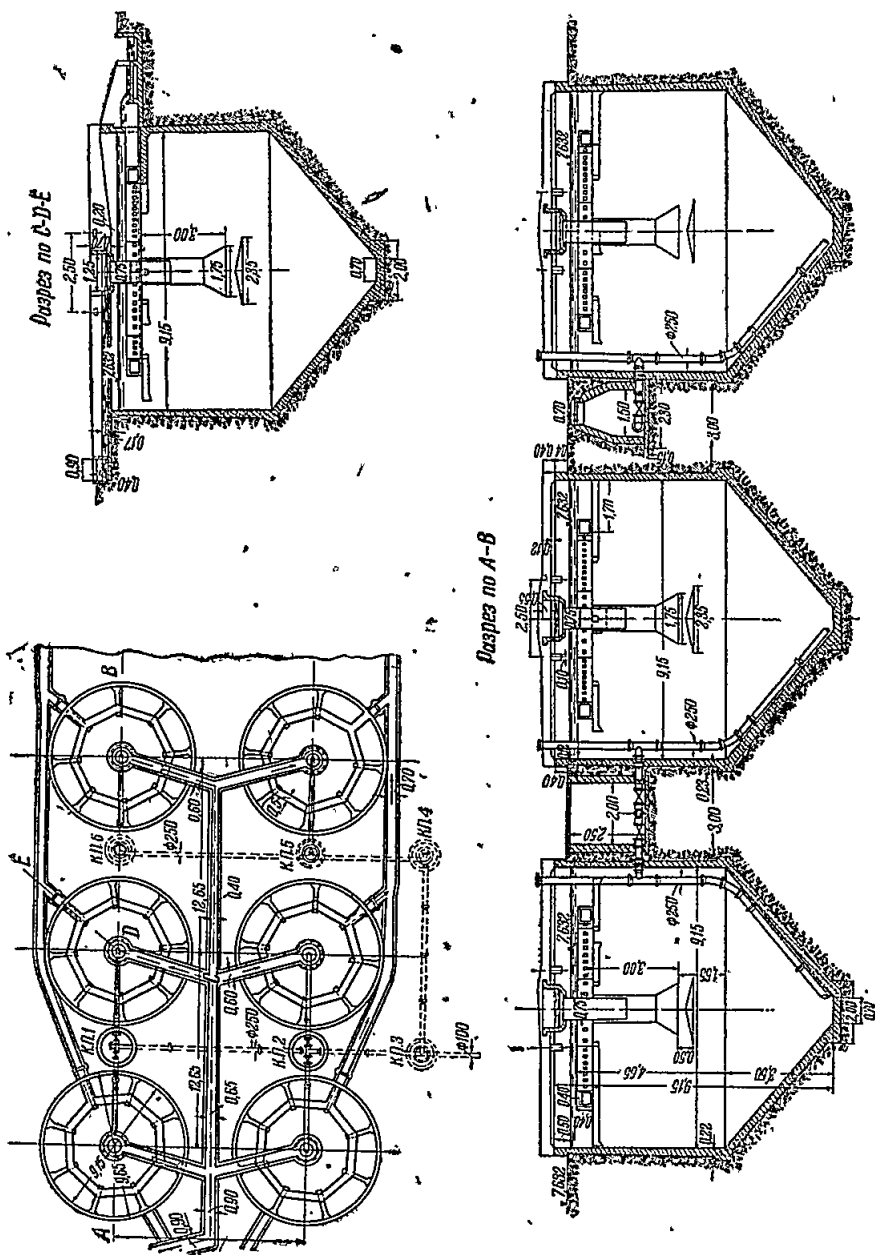


Рис. 32. Батарея круглых вертикальных отстойников.

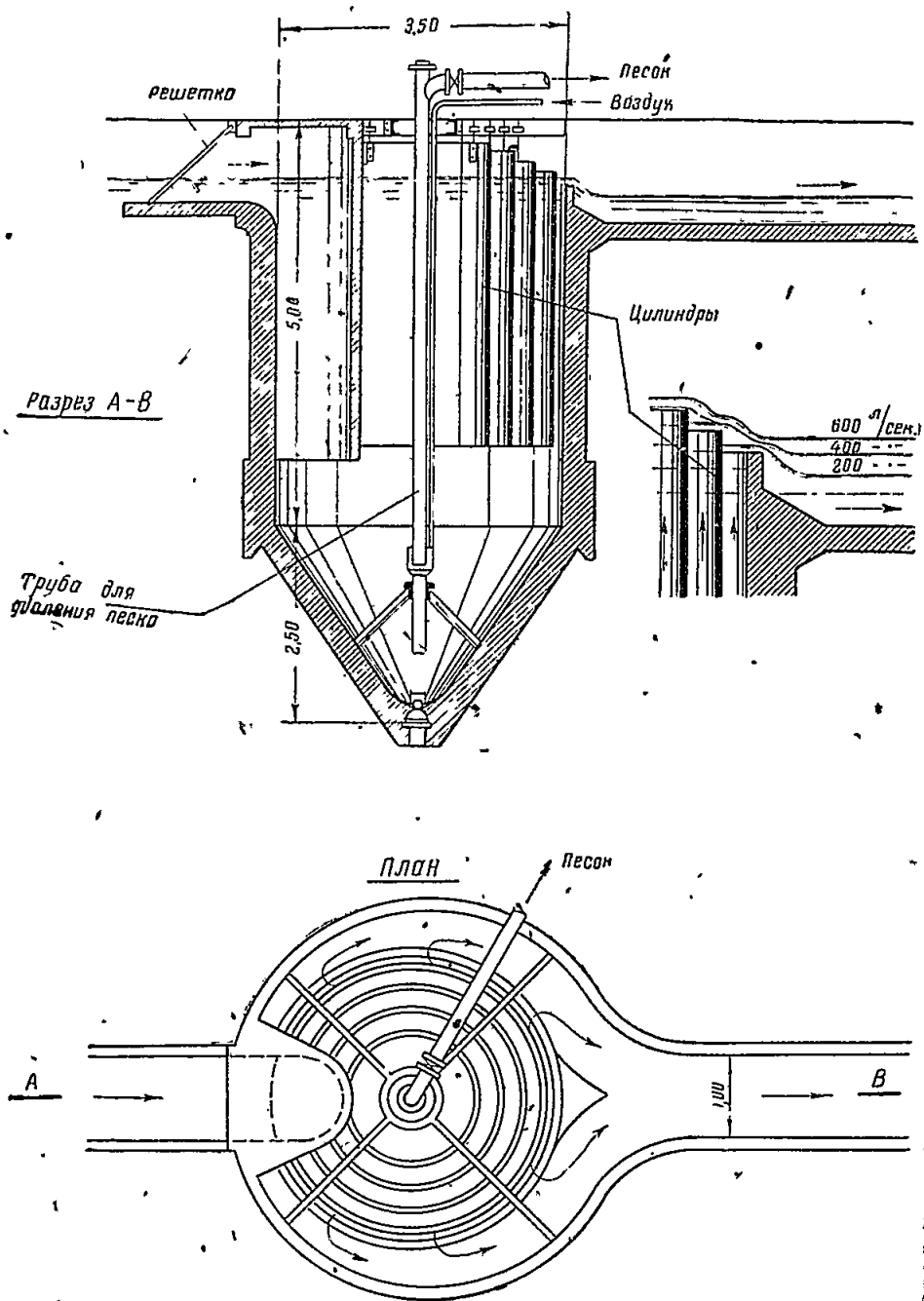


Рис. 33. Круглый вертикальный отстойник с распределительными перегородками.

с коническим разбивателем несколько ниже его (рис. 32). Такие отстойники устанавливаются обычно батареями (подобие многокамерных) с общим распределительным каналом (лотком), позволяющим выключать каждую камеру отдельно.

Для более равномерного распределения скоростей в таких отстойниках, особенно при изменении расхода воды, в отстойниках устраивают цилиндрические перегородки, расположенные концентрически (рис. 33), верхние рёбра, которых являются водосливами. Располагая верх этих перегородок на разных уровнях, можно заставить отстойник работать с постоянной восходящей скоростью при изменении расхода воды в нём путём включения новых кольцевых пространств между цилиндрическими перегородками при повышении уровня воды в подводящем канале, а значит и в отстойнике. В таких случаях подвод воды устраивают сбоку в вертикальную трубу, как это указано на приведённом рисунке 33.

При горизонтальном протекании воды в круглых отстойниках подача воды обязательно должна быть в центре камеры, но одновременно она может быть как сверху, так и снизу.

Ввиду того что такие отстойники устраиваются больших диаметров (30—35 м), то вопрос концентрации наносов для облегчения последующего их удаления привёл к выводу, что целесообразно применение специальных скребков Дорра, но возможны и иные системы в виде сплошных спиралевидных направляющих (рис. 46), которые сгребают наносы к центру, где устраиваются донные промывные отверстия. В связи с этим подача воды снизу может встретить конструктивные затруднения.

Конструкция впускных устройств здесь связана с наличием опорной колонны в центре для скребковой фермы и двигателя (мотора).

Обычно вода подаётся через центральную трубу, опирающуюся на колонку и имеющую внизу отверстия в боковой стенке. Для гашения больших выходных скоростей эти отверстия окружены цилиндрической перегородкой—забором, иногда представляющей собой дырчатую решётку. Но эти средства оказываются неудовлетворительными.

Опыты Hubbel (95) привели к выводу, что целесообразно создавать движение не по радиусам, а по спиральм посредством специальных направляющих (рис. 34), поскольку оказалось невозможным обычными средствами добиться равномерного распределения скоростей по вертикали и в плане по радиальным направлениям.

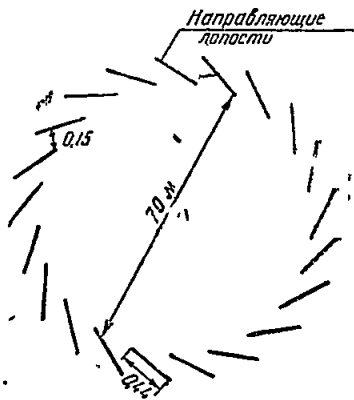


Рис. 34. Направляющие для создания спирального движения воды в круглых радиальных отстойниках.

ОТВОДНЫЕ УСТРОЙСТВА

Основное назначение отводных устройств — давать осветлённую до необходимых пределов воду в деривационный канал. Так как быстрее всего освобождаются от наносов верхние слои и наиболее насыщенными являются донные, то обычно при отводе воды из отстойников стремятся забирать её преимущественно из поверхностных слоёв.

Поэтому отводные устройства чаще всего представляют собой водосливы той или иной высоты.

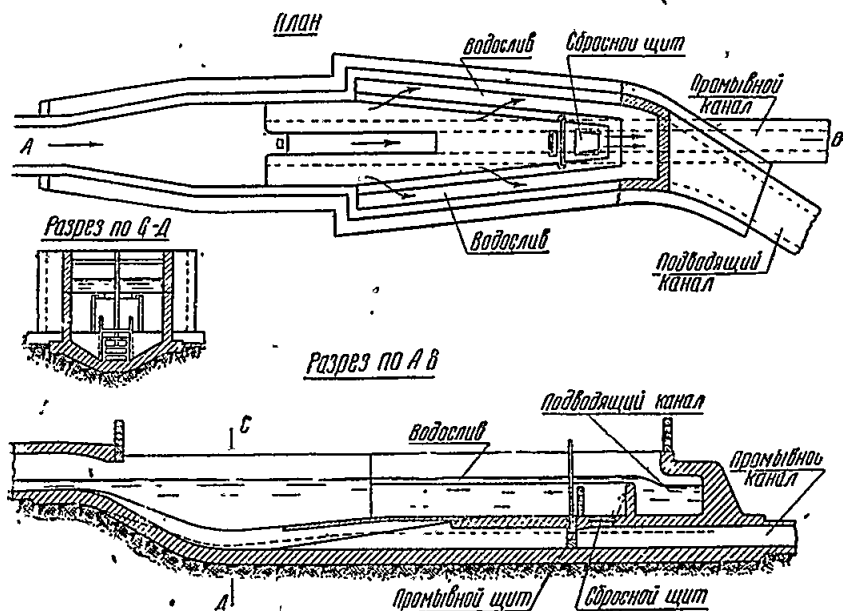


Рис. 35. Отстойник Хар'узовской ГЭС с развитым отводным водосливом.

Форма отводного устройства, в основном, зависит: 1) от общей схемы отстойного бассейна (однокамерный или многокамерный); 2) от способа удаления наносов, который, в свою очередь, определяет конструктивные особенности его; 3) от формы камеры; 4) от величины отводимого расхода воды и допускаемого перепада воды на отводном устройстве; 5) от колебания уровня воды в бассейне и 6) от необходимости регулирования расхода воды в голове деривации.

В простейших бассейнах при механической чистке, не имеющих обычно сооружений в начале и конце их, выход устраивается в виде достаточно плавного перехода от сечения отстойника к сечению деривации с таким расчётом, чтобы не образовывалось водоворотных зон в углах отстойника и у дна при переходе от дна камеры к дну

канала. При резком переходе будет получаться также сильное сжатие потока при входе в канал и значительный перепад, что при земляном русле потребует соответствующего крепления дна и откосов на некотором участке.

Центральный угол переходной воронки в плане может быть доведён, по крайней мере, до 60° . Сопряжение дна отстойника с дном канала может быть осуществлено откосом $1:3$ — $1:5$. Устройство выходного водослива здесь возможно, но это приведёт к устройству довольно солидного сооружения.

В однокамерных продольных бассейнах с гидравлической промывкой, применяемых обычно при малых расходах воды, осуществление отвода в виде сильно развитого водослива облегчается возможностью использования для этой цели боковых стенок (рис. 35).

В отстойнике канала Форт-Парампи (рис. 106) водослив устроен в криволинейной низовой стенке, отделяющей отстойник от канала и служащей для направления промывного потока. В первом случае (рис. 35) высота водослива не регулируется, так как это не требуется для гидростанции, где расход воды обычно регулируется турбиной и сбросом в напорном бассейне. Правда, в данном случае сбросное отверстие имеется и в отстойнике. Во втором случае (рис. 106) на отводном водосливе установлены шандоры, обусловленные необходимостью обеспечивать заданный расход в деривации при колебании уровня в канале, а также выключать деривацию полностью или частично на время промывки отстойника.

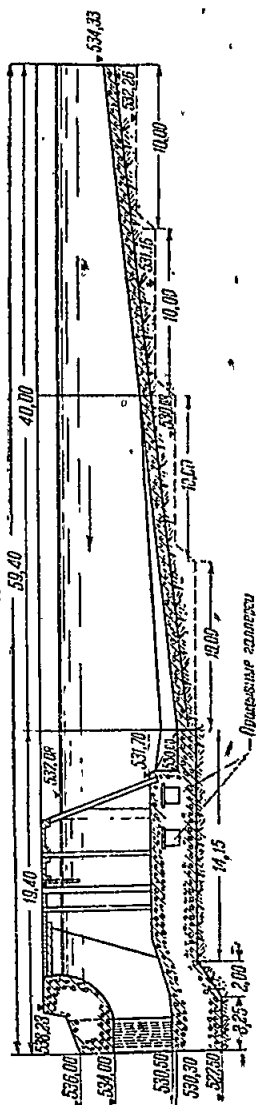
При отводе воды из однокамерного отстойника в напорные трубопроводы (рис. 36), закладываемые обычно достаточно глубоко под уровень воды, в конце отстойника устраивается невысокий порог ($1,0$ — 2 м), достаточный для задержки крупных (песчаных и галечных) наносов и для устройства в нём донных промывных отверстий. В отстойном бассейне Эриванской гидростанции, где дно устроено с обратным уклоном и промывное отверстие находится в начале отстойника, в конце его совсем нет порога, хотя его было бы всё же целесообразно устроить, учитывая наличие некоторой толщины слоя наносов и в конце отстойника.

Отвод воды из отстойника Земоавчальской гидростанции осуществляется регулятором с донными отверстиями. Высота порога в конце отстойника при входе в регулятор изменяется от 1 до 3 м в связи с тем, что порог криволинейный в плане и проходит по различным отметкам дна отстойника.

Такой отвод воды оказался неудовлетворительным: донные отверстия усиливают завлечение в канал отложившихся в отстойнике наносов (см. описание, часть II).

В многокамерных отстойниках длина отводного водослива (порога) димитируется обычно шириной камер (рис. 125), поскольку устройство их в боковых стенках осложнило бы и удорожило конструкцию. При значительных расходах воды (при многокамерных отстойниках) и малых перепадах (для сохранения напора) высота отводного порога обычно ограничивается необходимыми размерами для устройства в нём донных промывных отверстий. Минимальная

Разрез



План

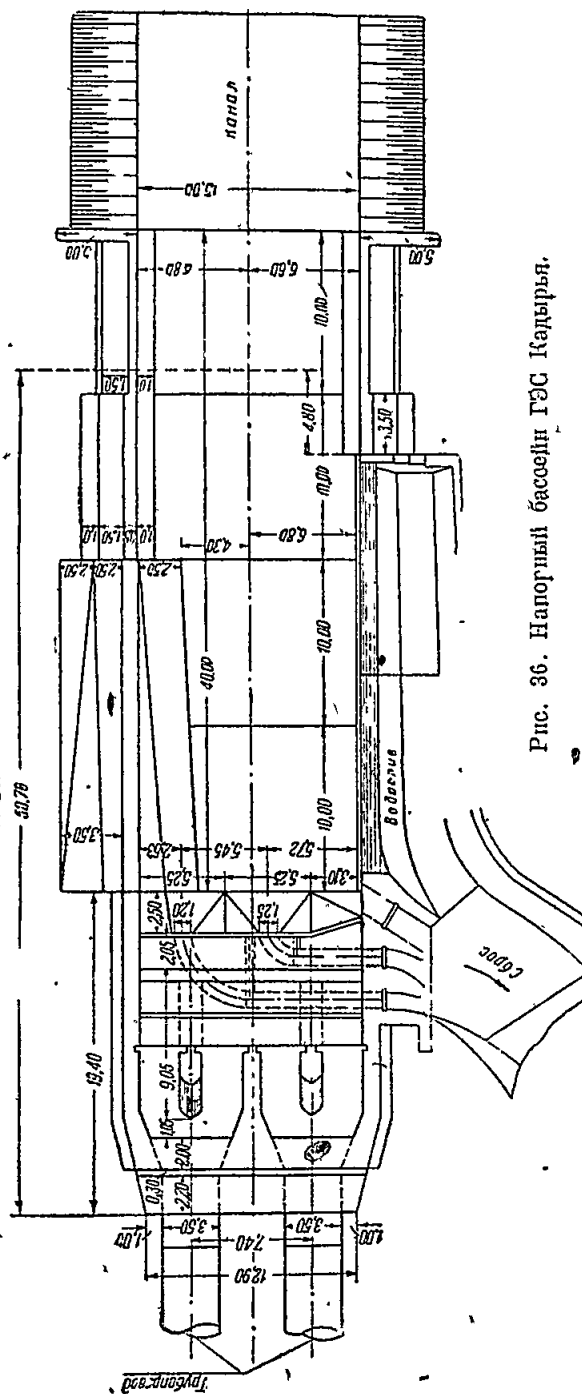


Рис. 36. Напорный бассейн ГЭС Кадыря.

высота выходного порога определяется также положением дна деривационного канала (рис. 114).

При малых расходах воды и в многокамерных отстойниках от-

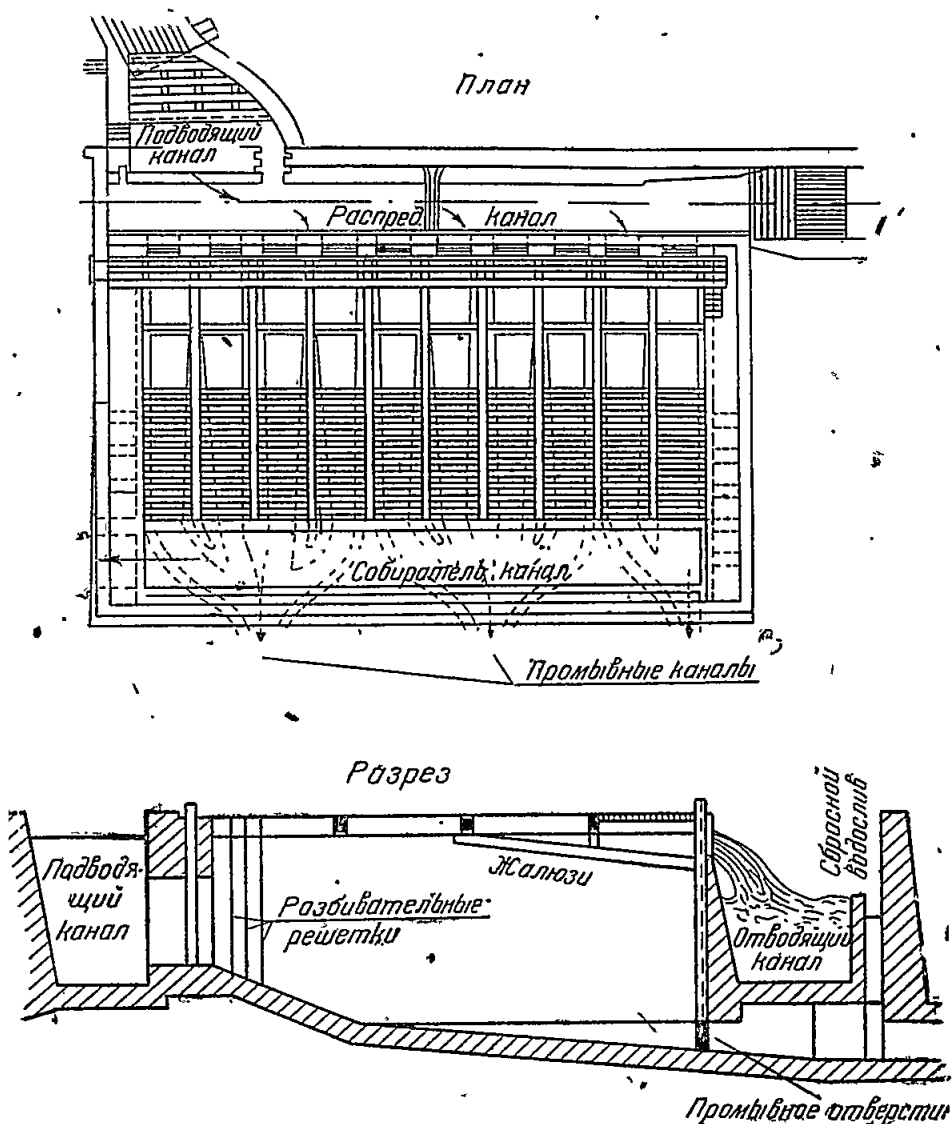


Рис. 37. Отстойник системы Бюхи.

вод может быть осуществлён в виде довольно высокого водослива (рис. 37). При этом для увеличения пропускной способности целесообразно его иметь незатопленным, т. е. создавать довольно значительный перепад. При больших расходах воды это будет вызывать значительные потери на мощности гидроэлектростанции.

Развитие длины отводного водослива возможно в многокамерных отстойниках путём устройства сети лотков на поверхности воды, борта которых являлись бы водосливами (рис. 38). Этим можно значительно снизить толщину переливающегося слоя воды и перепад. Но при больших колебаниях уровня в реке, и значит в отстойнике, идея такого переливающегося слоя в паводок нарушается и вряд ли будет целесообразна. Отводом воды посредством таких лотков, выдвинутых далеко в отстойник, достигается уменьшение скорости течения в нижележащей части потока, вследствие отвода некоторой доли расхода воды. В результате может усиливаться эффект действия отстойника.

Высокий незаотопляемый снизу водослив удобен, так как не требуется на нём устанавливать щиты или шандоры для выключения

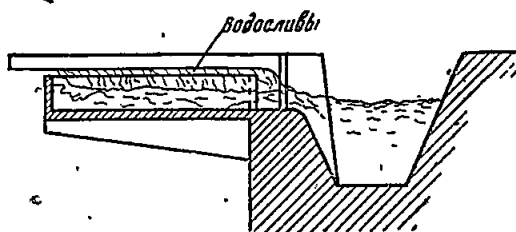


Рис. 38. Сильно развитый отводной водослив в конце отстойника (разрез).

камер: с понижением уровня в камере при опорожнении её она автоматически отключается от канала с осветлённой водой. Лишь при необходимости регулировать расходы воды в начале деривации на отводном водосливе во всех случаях придётся ставить щиты или шандоры, в зависимости от размеров перекрываемого пролёта.

При затопленном выходном водосливе (пороге) всегда необходимы щиты или шандоры для выключения камер. Затопленный отводной водослив (порог) позволяет производить промывку камер обратным током воды из деривационного канала. Таким путём идёт промывка отстойника Дворагетской гидростанции, так как прямым током воды промывка в нём будет несовершенна из-за криволинейности камер в плане (рис. 108) (см. описание в главе IX). Использование для промывки наносов осветлённой воды нерационально, так как придётся на время промывки сократить расход в деривации или пустить форсированный расход через оставшиеся камеры, ухудшив их работу или увеличив соответственно их размеры. Кроме того, при пропуске через оставшиеся камеры дополнительного расхода на промыв увеличится соответственно отложение в них наносов и повысится общее потребление воды при промывке камер.

Расположение отводного устройства в многокамерном отстойнике обычно не вызывает сомнений — оно делается в нижней торцевой стенке.

При однокамерном отстойнике, промываемом гидравлически путём увеличения расхода и некоторого снижения уровня воды, без регулирования щитом в начале камеры, как это имеет место в отстойнике Форт-Ларамы, положение промывного и отводного устройства имеет существенное значение. При боковом расположении промывного шлюза даже при довольно серьёзной проработке формы камеры (Форт-Ларамы) промыв наносов недостаточно совершенный.

Поэтому целесообразней промывной плуоз в таких случаях устраивать на продолжении оси камеры, а отвод осветлённой воды пропаводить сбоку (рис. 39) или по периметру камеры (рис. 35).

В поперечных отстойниках отводной водослив всегда сильно развит и потому может быть достаточно высок и с тонким переливающимся слоем воды (рис. 15, 80а, б). В связи с тем, что водослив очень длинный, устройство на нём щитов сильно осложнит эксплуатацию и удорожит отстойник. Поэтому в поперечных многокамерных отстойниках обычно и не делают щитов на отводных водосливах, устанавливая гребни их выше уровня в канале. Можно также предусмотреть

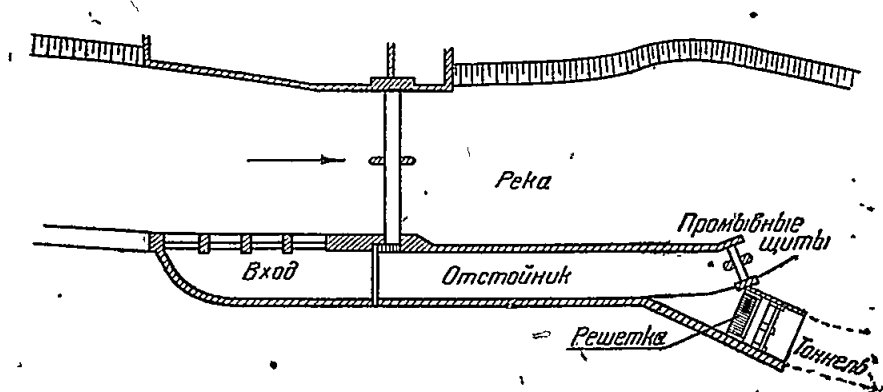


Рис. 39. Отстойный бассейн ГЭС Помблир.

щиты не на водосливе, а в конце приёмного канала, втекающего в магистральный. Лишь при однокамерном поперечном отстойнике это обстоятельство не имеет значения (рис. 15)—водослив может быть и затопленным.

Наибольшее развитие отводной водослив получает в круглых отстойниках (рис. 49). Отключение круглой камеры может быть автоматическое—при прекращении подачи воды в неё, если отводной водослив незатоплен. При затопленном отводном водосливе необходима установка щитов на отводном канале.

В вертикальных круглых отстойниках отводные водосливы могут быть также по периметру камеры, как и при горизонтальном протекании воды в них. Но в вертикальных отстойниках такой отвод обуславливает неполное использование объёма камеры, создавая резко выраженное направление потока к водосливу и мёртвые водоворотные зоны в центральной части. Поэтому отводной водослив иногда устраивают в виде специального кольцевого лотка меньшего диаметра (рис. 32), а для сохранения восходящей скорости в отстойнике, постоянной при переменном расходе воды, отводные водосливы выполняются в виде нескольких концентрических цилиндров с гребнями на разных уровнях (рис. 33). Таким образом, при увеличении расхода происходит поднятие уровня в подводящем и отводящем каналах и, следовательно, в отстойнике, в результате вода начинает

переливаться не только через крайний кольцевой водослив, но и через следующие, расположенные ближе к центру.

Как видим, соответствующей конструкцией отводных устройств можно значительно улучшить работу отстойных камер.

СРЕДСТВА ДЛЯ УДАЛЕНИЯ НАНОСОВ

Очистка бассейнов от наносов — одна из наиболее существенных операций в эксплуатации отстойника. Поэтому требованиям её подчинены в значительной степени форма камер и конструкция бассейна в целом.

Но, с другой стороны, различные типы отстойных камер (продольные, поперечные, круглые) имеют и соответствующие им устройства для удаления наносов.

Очистные устройства по характеру их работы могут быть разделены на следующие три группы:

I. Устройства для гидравлической промывки наносов, включающие конструктивные меры в самих камерах и промывной канал для транспортирования и сброса гидромассы в нижний бьеф или в ближайший овраг.

II. Устройства для механической очистки наносов; включающие механизмы по удалению наносов из камер и средства для транспортирования их к месту укладки.

III. Смешанные очистные устройства, где одновременно с гидравлической промывкой имеют применение механизмы для перекачки гидромассы или механизмы для подачи наносов к промывным устройствам.

Условия применения различных промывных устройств указаны были выше, при рассмотрении систем отстойных бассейнов.

Выбор системы для очистки, конструирование и расположение в бассейне очистных устройств основываются на учёте следующих требований:

1. Должна быть обеспечена очистка всех частей бассейна одновременно или поочерёдно в течение всего периода его работы.

2. Расход воды на очистку наносов необходимо доводить до возможно минимального, согласовывать его с гидрологическим режимом источника и с графиком потребления воды предприятием, а также с пропускной способностью деривационных устройств при расположении отстойника не в голове канала.

3. Необходимо учитывать возможность или недопустимость выключения деривации, а также возможность некоторого снижения подачи воды в канал во время очистки отстойника.

4. Недопустимость попадания в деривацию в той или иной мере наносов, вмучиваемых при очистке отстойника.

5. Очистные механизмы при механическом удалении наносов должны иметь минимально возможную мощность при возможно высоком коэффициенте их использования, обеспечивать транспортирование наносов к месту отвалов и не должны нарушать работы отстойных камер.

6. При гидравлической промывке наносов промывные устройства должны работать бесперебойно—не забиваться наносами—и тем обеспечивать необходимые условия для работы предприятия.

ПРОМЫВНЫЕ УСТРОЙСТВА ОТСТОЙНЫХ КАМЕР

Промывные устройства камер могут быть разделены на:

1) общие, производящие промывку всей камеры или бассейна в целом, которые, в свою очередь, могут быть периодического действия (рис. 106), с коротким временем промывки и большим промывным расходом, и непрерывного действия (рис. 42), с малым расходом воды и с перерывами в работе на время отсутствия в потоке наносов;

2) местные, обеспечивающие удаление наносов только с небольшой части отстойной камеры (рис. 36) и обычно являющиеся периодически действующими.

Общие промывные устройства

Поскольку конструкции промывных устройств тесно связаны с формой камер, рассмотрим их отдельно для существующих систем камер.

В продольных однокамерных бассейнах, не имеющих обводных каналов, т. е. присоединённых к деривации последовательно, промыв производится прямым током воды. Общие промывные устройства периодического действия представляют собой шлюзы с большой пропускной способностью, обеспечивающие при промывке создание больших скоростей в отстойнике (до 3—5 м/сек., а иногда и выше). Поскольку достижение таких скоростей путём увеличения расхода нецелесообразно (необходимо было бы повышение расхода в 10—20 раз), особенно при расположении отстойника в середине или конце деривации, то приходится снижать горизонт воды в бассейне при его промывке. При этом чаще всего для промывки используется имеющийся расход в деривации или увеличивается за счёт сработки уровня в вышележащей части канала, как это имеет место, например, в отстойнике канала Форт-Ларам (рис. 106) (см. описание его работы).

Отстойник Земонавчальской гидроэлектростанции однотипен с описанным, но расположен в голове канала (рис. 101). Ввиду недопустимости остановки гидроэлектростанции здесь не может быть взят весь расход деривации на промывку и не может быть поэтому сильно снижен уровень воды в бассейне при промывке. Это и обусловило плохую промываемость отстойника и завлечение наносов в деривацию (см. описание его). В данном случае нельзя было применять однокамерный отстойник с промывным шлюзом в конце его. Расположение промывных шлюзов в указанных отстойниках сбоку обусловило своеобразную форму камер. Криволинейное очертание их в нижнем конце обуславливает хороший смыл наносов у порога. Но боковой промывной шлюз не обеспечивает равномерного смыла наносов со всей площади

дна отстойника. Это и наблюдалось при исследовании работы отстойников в натуре.

При промывных шлюзах в отстойнике канала Малка-Кура на продолжении оси камер обусловило хороший промыв наносов (рис. 120) при отсутствии выпускных щитов в начале камер. Но в этом последнем случае, промыв одной из камер мощным током воды отражается на работе других камер, особенно при снижении расхода воды в реке: уровень в верхнем бьефе резко снижается, и сокращается расход воды в других камерах. Кроме того, сильный ток по направлению к одной (промываемой) камере создаёт неблагоприятные условия входа в другие камеры, особенно соседние с промываемой.

Установка щита во входе в третью камеру позволила сильно уменьшить промывной расход и избежать других указанных недостатков. В дальнейшем намечена установка входных щитов и в остальных четырёх камерах, т. е. отстойник будет обращён в обычный многокамерный.

В многокамерных продольных отстойниках промывные устройства являются спускными, смыв же наносов производится струёй, выпускаемой из-под щита в голове отстойника. Необходимо лишь обеспечить пропуск воды через промывные отверстия без подпора или, во всяком случае, при минимальном подпоре, не вызывающем отложений наносов в конце камер, для чего скорости промывного потока должны быть сохранены на всём протяжении камер достаточными для размучивания наносов (3—6 м/сек.).

При таком назначении промывных отверстий они могут быть расположены сбоку, в конце и в начале камер (рис. 14, 108). Но боковое расположение промывных отверстий может быть целесообразно при малых промывных расходах и значит при сравнительно небольших камерах.

При значительных размерах отстойников, как, например, Чирчикский, когда промывные отверстия требуют солидных щитовых устройств и механизмов, их целесообразнее располагать в торцовых отводных водосливах или порогах (рис. 126, 114).

Вообще устройство промывной галлереи или отверстий в отводном водосливе (пороге) целесообразней для обеспечения полного смыва наносов со дна отстойника, что при боковом отверстии не всегда удаётся.

Промывка обратным током воды, как это устроено в отстойнике ДзораГЭС, вообще мало целесообразна, если для этого использовать осветлённую воду. Но принципиально было бы более правильным промывные (спускные) отверстия устраивать в начале отстойных камер, поскольку основная масса наносов отлагается в первой половине их, а дно по этим соображениям должно иметь обратный уклон для образования в начале камер необходимого запасного объёма для наносов.

Преимущества обратной промывки заключаются ещё и в том, что при спуске воды из камеры после её выключения на промыв будет происходить значительный смыв наносов, поскольку основная масса их лежит возле промывных отверстий. Этим ускоряется промыв и

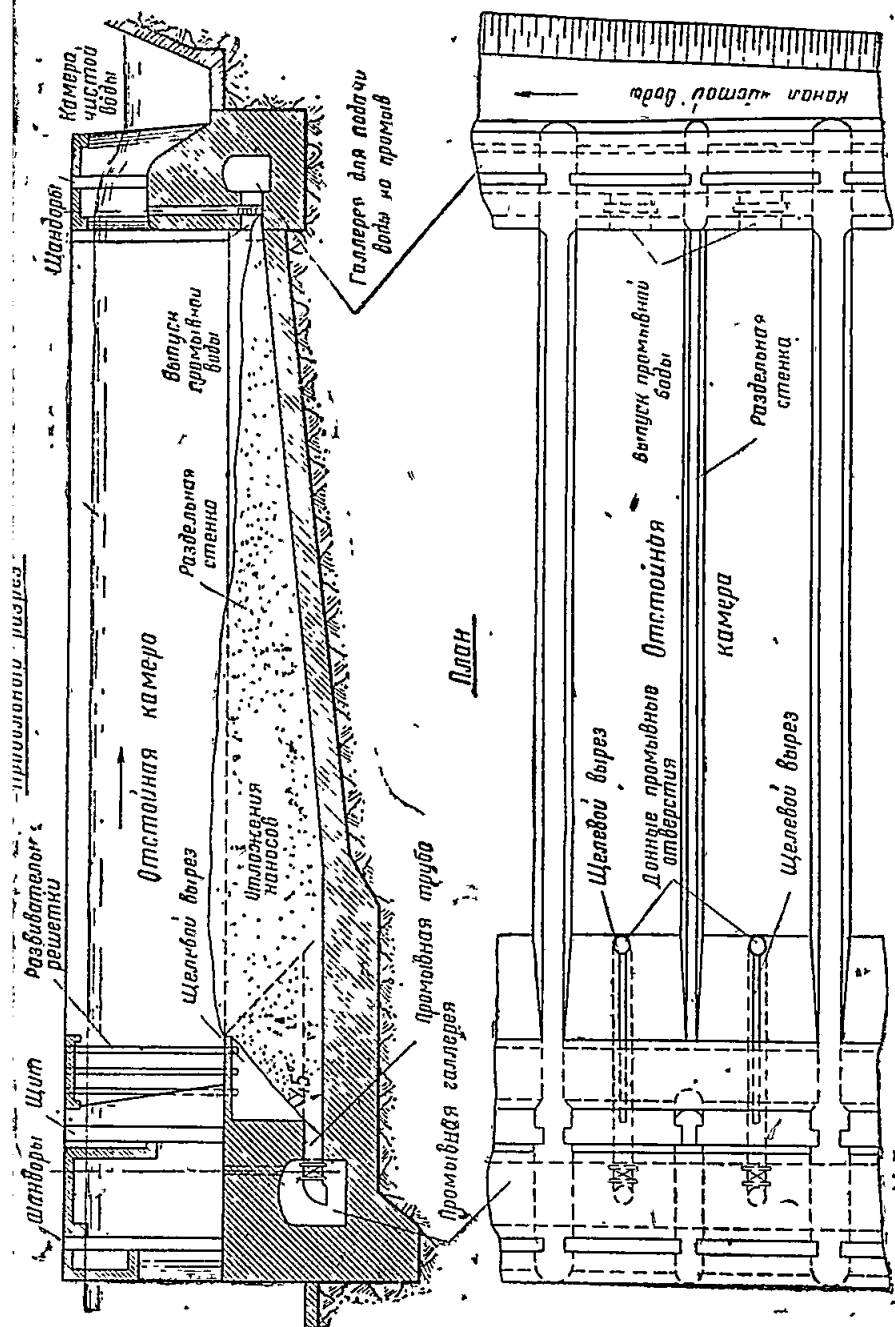


Рис. 40. Отстойный бассейн с обратной промывкой наносов.

экономится вода за счёт более рационального использования имеющегося в камере объёма, в обычных системах сбрасываемого почти бесполезно для промыва.

Подачу воды для промыва можно производить через донную галерею в боковой стенке отстойника и далее через донные отверстия в отводном водосливе, чтобы иметь направление смывного потока по оси камер. В этом случае камера будет иметь вид, представленный на рисунке 40.

Здесь для предупреждения забивки наносами промывного донного отверстия применён щелевой вырез над промывной трубой, сверху частично перекрытый плитой с таким расчётом, чтобы попавшие в этот вырез наносы и отложившиеся в нём под углом 45° не закрыли отверстия промывной трубы. Тогда при открытии задвижки промывной трубы поток через щель устремится в неё и начнёт смывать наносы.

Промывные (спускные) отверстия и в данном случае можно устраивать в боковых стенках при небольших промывных расходах воды, это облегчит борьбу с забивкой щитовых пауз наносами.

Для уменьшения промывного расхода воды и улучшения условий промывки отстойник разбивают на большее число камер. Но это приводит к существенному удорожанию отстойника. Поэтому целесообразно число камер доводить до минимума—две-три, а для облегчения промывки широких камер можно разделять их продольными невысокими затопляемыми стенками на ряд лотков, промываемых самостоятельно при выключении камеры в целом. Возможность такого решения позволила, например, в Вараобском отстойнике число камер снизить до двух (рис. 110).

В настоящее время прорабатывается ряд новых конструкций промывных устройств периодического действия, обеспечивающих промывку отстойника без разбивки его на камеры и без выключения из работы. Из них следует отметить, как заслуживающие наибольшего внимания, конструкции инж. Ярошения и инж. Сокерина. Основной принцип их одинаков и заключается в применении продольных щелей по всей площади отстойника.

Приведём здесь один отстойник из этой системы инж. Сокерина. Сущность его промывных устройств заключается в следующем. Дно отстойника осуществляется в виде двусторонних скатов (рис. 41), обеспечивающих сползание наносов к нижним точкам получающихся углублений.

Чтобы можно было удалять наносы из углублений, над скатами устанавливаются двускатные железобетонные покрытия на некотором расстоянии от поверхности скатов, облицованных бетоном. Низ этих покрытий доходит почти до самой низкой точки углублений; остаётся лишь небольшая щель, через которую и увлекаются наносы при промывке. Для транспортирования наносов наверх каждого ската устроены две галереи, работающие самостоятельно и сообщающиеся с нижним бьефом (см. план). Таким образом, промывку наносов можно вести по частям или сразу по всей площади отстойника, это будет зависеть от наличия промывной воды и от количества наносов. В паводок, очевидно, промывку можно вести сразу по всему

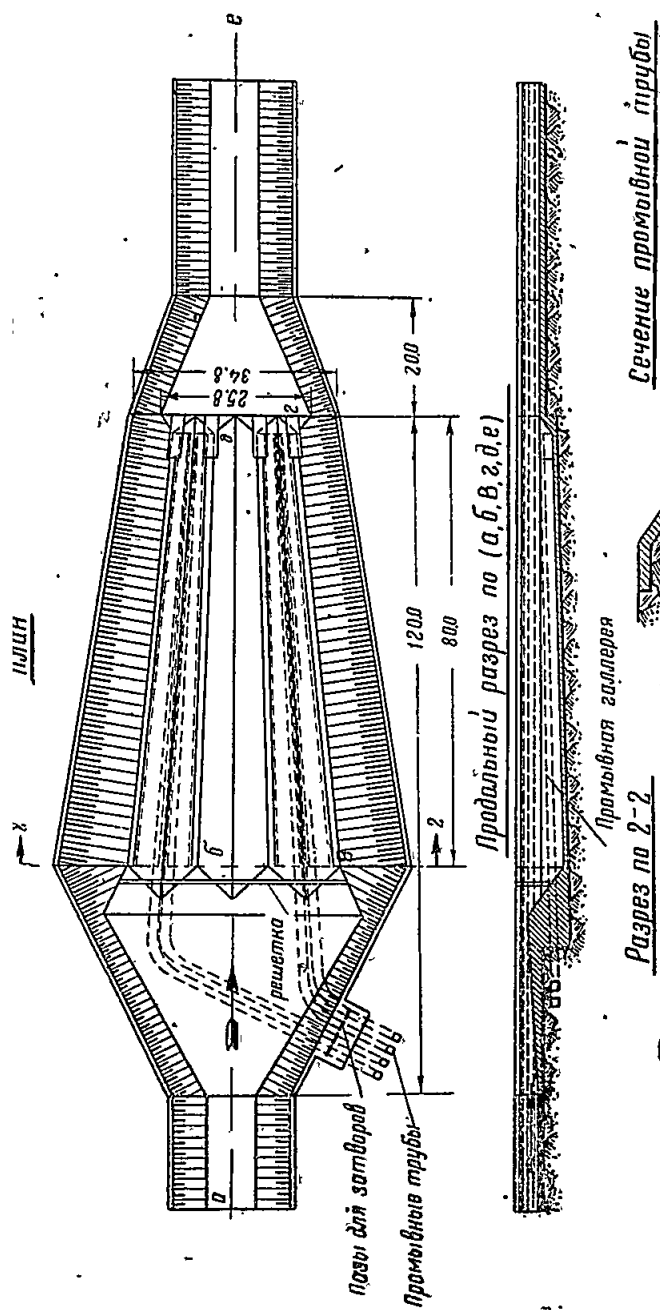


Рис. 41. Отстойник системы инж. Бокерина со щелевым промывом.

отстойнику или, во всяком случае, одновременно через несколько галлерей. В межень, при необходимости экономии воды, промыв следует вести отдельно по каждой галлерее.

Промыв ведётся от конца отстойника к его началу. Для этого в конце отстойника, в отводном водосливе (пороге), устроены вертикальные щели, являющиеся продолжениями горизонтальных щелей. Эти вертикальные щели выведены на высоту, достаточную для того, чтобы не быть покрытыми отложениями наносов. Поскольку отложения в конце имеют значительно меньшую толщину, то это легко достижимо и оправдывает порядок промывки—от конца к началу отстойника. Таким образом, при открытии щита галлерей через

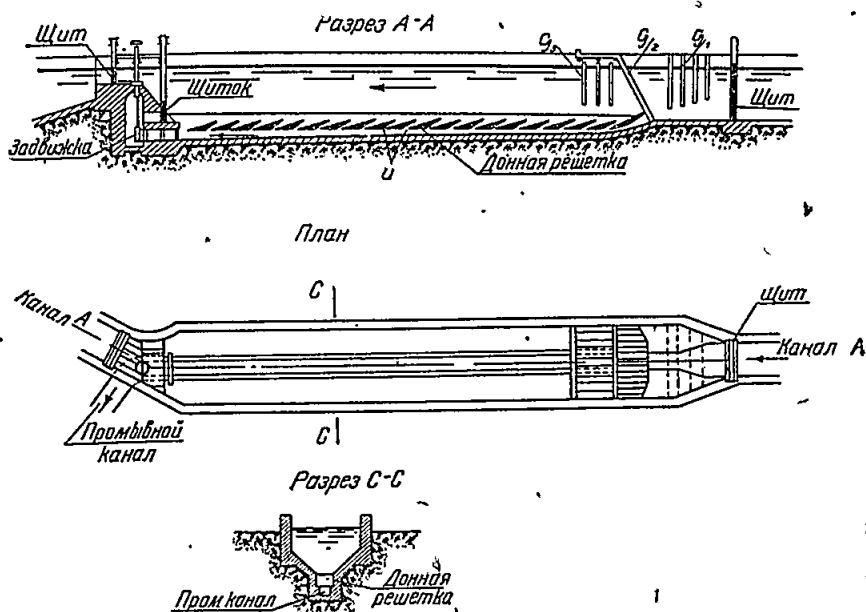


Рис. 42. Отстойник системы Дюфура.

открытую часть вертикальной щели устремляется вода, смывая поверхность наносов. Начавшийся здесь смыв наносов продвигается непрерывно к началу отстойника, пока все наносы из данного углубления не будут вымыты.

Опытная проверка промывного устройства в лаборатории¹ показала хорошую его работу. Смыв наносов проходил интенсивно, усиливаясь к концу, поскольку промывной расход всё время возрастал, вследствие уменьшения потерь из-за сокращения длины промывного тракта по мере смыва наносов, а также вследствие того, что при постоянном сечении щели расход воды по длине её распределяется далеко не равномерно. Основная масса воды проходит вблизи смыв-

¹ Опыты проводились в Научно-исследовательском институте гидротехники.

ваемой кромки наносов, усиливая их смыв. Не касаясь здесь конструктивной стороны (предложенная конструкция является первым образцом), полагаем, что этот новый принцип промывных устройств найдёт своё применение в производстве.

Общие промывные устройства непрерывного действия в настоящее время сводятся к двум системам: Дюфура (рис. 42) и Д. Я. Соколова¹ (рис. 43).

Система непрерывной промывки Дюфура заключается в следующем.

Дно бассейна устраивается с одиночными откосами для концентрации осаждающихся наносов на узкой полосе дна отстойника. Вдоль всего бассейна устраивается небольших размеров промывной продольный канал, перекрываемый сверху решёткой со спицами, нормальными к оси этого канала. Спицы этой решётки имеют такую форму в поперечном разрезе, что просветы между ними получаются сужающимися к выходу (книзу). Это достигается более пологим срезом задней грани спицы по сравнению с передней (рис. 42). Такая форма спиц выбрана для того, чтобы оседающие наносы не могли скапываться сами по задней грани спицы в промывной канал, когда он закрыт, и тем не смогли бы его забивать. Однако, когда не стоит вопрос о забивке донного канала наносами в период его бездействия, то рациональнее, для улучшения проваливания наносов в промывной канал, просветы между спицами делать расширяющимися книзу, так как застрявшие в сужающемся просвете наносы впоследствии плохо промываются.

В конце бассейна, в торцовой стенке, устроены два донных отверстия. Через нижнее сбрасывается расход донного канала, верхнее служит для периодической очистки донной решётки, когда непрерывная промывка прекращается.

Донный канал оканчивается в начале камеры открытым отверстием, через которое в него поступает непрерывный расход воды во время промывки, смывающий в канал наносы, отлагающиеся в начале камеры. Кроме того, сильный ток воды должен обеспечивать всасывание воды по всей длине донной решётки и тем самым смыв выпадающих в отстойнике наносов через её просветы.

Предложенный Дюфур способ промывки прямым током воды, т. е. направленным вниз по течению основного потока в отстойнике, обуславливает значительное повышение продольных скоростей в донном слое. Предложенная инж. Чавтораевым промывка обратным током воды привела к значительному уменьшению донных скоростей. Кроме того, обратное направление промывного тока имеет ещё и то положительное значение, что в большей массе отлагающиеся наносы в начале отстойника не транспортируются вдоль всего донного канала и легче промываются через решётку, поскольку к началу отстойника пьезометрическое давление в промывном канале будет значительно понижено по сравнению с прямой промывкой. Это обстоятельство позволит обходиться без обычно значительного промывного расхода во входном отверстии донного канала.

¹ Авторское свидетельство за № 30625 от 31 мая 1933 г.

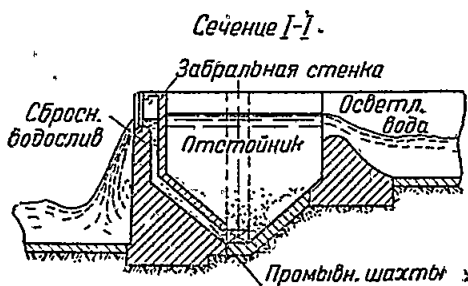
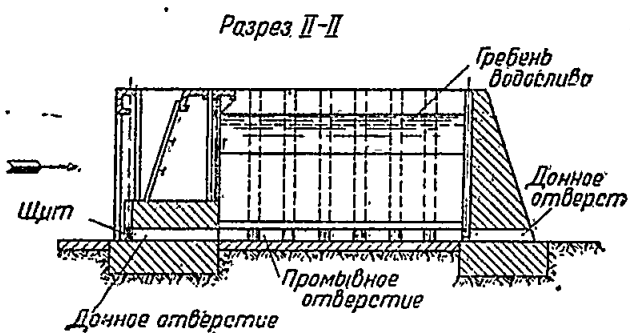
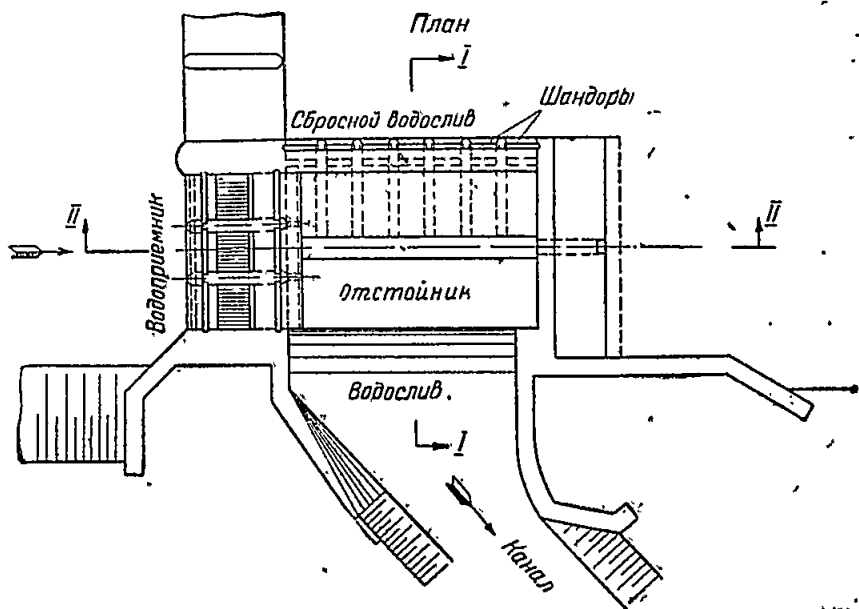


Рис. 43. Отстойник системы Д. Я. Соколова.

Существенным недостатком системы является трудность обеспечения смыва наносов по всей длине решётки при большой длине отстойника и малая насыщенность наносами промывного потока.

Система Дюфура применяется как в однокамерном, так и в многокамерном (рис. 74, а, б) отстойниках.

Но не лишено возможности её использование и при широких однокамерных отстойниках по схеме, представленной на рисунке 44¹.

Система Дюфура применяется обычно в расчёте на улавливание крупных наносов: гравия, крупного и среднего песка. Однако нет особых оснований не применять его и при более мелких наносах.

Поперечный разрез отстойника

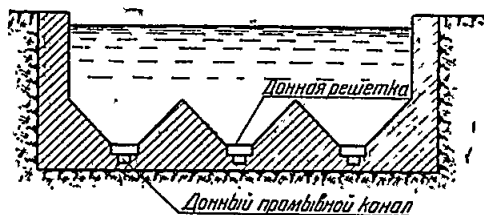


Рис. 44. Применение промывных устройств Дюфура к широким отстойникам.

Сущность системы промывки наносов, предложенной Д. Я. Соколовым (рис. 43), заключается в следующем.

При промывке наносов в нижний бьеф приходится часто ограничивать глубину бассейна вследствие возможного подтопления дна его снизу (особенно в паводок), затрудняющего промывку. Это обуславливает увеличение ширины отстойника при заданной скорости течения в нём, а следовательно, и увеличение числа камер.

Избежать подтопления дна отстойника снизу можно также удлинением промывного канала, выводя его в то место реки, где уровень в паводок будет ниже дна отстойника на величину потерь напора в промывном тракте. Это возможно получить только в том случае, когда уклон реки будет больше необходимого уклона промывного канала. При отсутствии такой возможности приходится переносить отстойник ниже на деривацию, где разность уровней в канале и в реке (куда намечен сброс наносов) будет обеспечивать неподтопляемость отстойника снизу. Таким путём установлено было место для отстойников канала Форт-Ларамы и Канакирской гидростанции. Но перенос отстойника на канал требует мероприятий против заиления выпележащей части канала.

Для устранения зависимости промывки от уровня нижнего бьефа была разработана новая схема промывных устройств непрерывного действия с вертикальными или наклонными шахтами, расположенными на известном расстоянии друг от друга вдоль одного или обоих бортов отстойника.

¹ По предложению доцента Д. Г. Шапошникова.

Шахты внизу кончаются у дна бассейна в виде донных отверстий, обеспечивающих смыв наносов по всей длине его. Вверху шахты в боковой стенке устроен водослив для сброса промывной воды (см. поперечный разрез), который для усиления промыва может быть заменён сифоном. Если гребень водослива вывести выше наивысшего уровня в нижнем бьефе, то колебания горизонта воды в нём совсем не будут отражаться на промывке, даже при таком расположении отстойника в реке, когда сброс промывной воды производится непосредственно в нижний бьеф.

Ввиду ограниченного действия донных промывных отверстий при наполненных водою камерах, дно их устраивается с откосами для концентрации наносов возле отверстий.

Работа отдельных шахт легко может быть согласована с характером отложений наносов на дне. Увеличение промывного расхода в первых по течению шахтах, в связи с большим количеством выпадающих наносов в начале отстойника, достигается снятием соответствующего числа шандор на водосливах этих шахт¹. Наличие шандор на сбросных водосливах шахт позволяет вообще регулировать промывной расход в зависимости от гидрологических условий потока.

На случай забивки шахт наносами из-за упущений эксплуатации (а это может случиться в первую очередь с первыми по течению шахтами) во входном пороге может быть предусмотрено донное отверстие по оси отстойника. При снижении уровня в отстойнике путём прикрытия входных щитов этим донным отверстием наносы перед первыми шахтами легко могут быть смыты. Если в нижней торцовой стенке устроить второе донное отверстие, то отстойник можно промывать периодически в межень, когда наносов мало и воду на промыв желательно экономить.

Отстойник с предложенной системой промывки был испытан в лаборатории ВНИИГМ. На основании этих испытаний и разработан расчёт промывных устройств, обеспечивающий их надёжную работу (см. расчёты).

Рассматриваемая система промывки может быть применена и в многокамерном отстойнике (рис. 73, а, б).

В поперечных бассейнах чисто гидравлическая промывка чрезвычайно осложнит устройство отстойника большим числом промывных щитов, если иметь в виду обычно применяемые методы промыва. Промывные устройства отстойника установки Ливе сводятся к многочисленным донным отверстиям в отводном водосливе чрезвычайно ограниченного действия (рис. 15), что соответствует размерам промываемой области. Но, как уже отмечалось, такой отстойник может задержать только довольно крупные наносы. В других случаях, когда размер камеры по направлению потока потребуются больших размеров, ограничиться одними донными отверстиями в отводном водосливе не удаётся. Тогда необходимо применение, наряду с гидравлическими, и механических средств для концентрации удаления наносов. Об этом будет сказано ниже.

Чисто гидравлическая промывка поперечных отстойников воз-

¹ Можно также увеличить сечение шахт в начале отстойника;

можно при применении щелевых устройств инж. Сокерина при расположении щелей нормально к течению, т. е. вдоль наибольшей стороны отстойника.

В круглых бассейнах обычно чисто гидравлическая промывка не применяется, что объясняется условиями их работы (канализация, водоснабжение):

а) малые расходы воды не позволяют выделить обычно довольно значительный расход на промыв;

б) отсутствует естественный перепад горизонтов воды, необходимый для гидравлической промывки.

Если круглый вертикальный отстойник применить в ирригации или гидросиловом строительстве, то не представляет затруднений применить гидравлический промыв наносов, устроив донное отверстие в центре, где концентрируются и наносы, сползая по откосам дна (рис. 32, 33).

Но здесь следует предусмотреть довольно частую промывку или даже непрерывный промыв для предупреждения забивки отверстия наносами, особенно при наличии большого количества песчаных фракций, отлагающихся обычно плотным слоем.

В круглых радиальных отстойниках чисто гидравлическая промывка будет сложна, целесообразней здесь применять смешанную систему удаления наносов.

Местные промывные устройства

Местные промывные устройства обычно представляют собой донные отверстия ограниченного действия и применяются при малом количестве наносов. Поэтому они устраиваются в местах наибольших скоплений наносов и в наиболее пониженных пунктах бассейнов и служат для удаления наносов из определённой области их (рис. 36). Такие отверстия могут быть в нескольких местах отстойника.

Эти отверстия могут служить также спускными на случай опорожнения отстойника для генеральной чистки его и ремонта.

Особенно частое применение местных промывных отверстий встречается в напорных бассейнах гидростанций, которые одновременно выполняют и функции отстойника. Вывод воды из напорного бассейна в трубопровод чаще осуществляется в торцовой стенке его. Обычно большая глубина заложения входа в трубопровод позволяет в конце бассейна иметь сравнительно небольшой высоты порог для задержки донных наносов. Так как все отложившиеся в бассейне наносы могут перемещаться только по дну, то они не могут миновать поперечный порог в конце бассейна. При устройстве достаточного количества промывных отверстий в этом пороге (рис. 36) и при достаточно частой промывке наносов можно предупредить завлечение наносов в трубопровод. Расстояние между отверстиями в пороге определяется расчётом (см. расчёты).

Однако применение только местных промывных устройств, хотя бы и по всей длине поперечного порога, не гарантирует полной промывки бассейна и его приходится периодически чистить вручную (при опорожении всей деривации) или механически без остановки гид-

ростанции. Поэтому в тех случаях, когда ожидается большое количество наносов в бассейне, а также когда приходится экономить воду и бассейн выключать на время промывки не представляется возможным, устраивают ряд отверстий в местах скопления наносов, в порогах и на дне. Одновременно для увеличения зоны действия отверстий дну бассейна придаётся соответствующая форма с воронкообразными углублениями, на дне которых и устраиваются промывные отверстия.

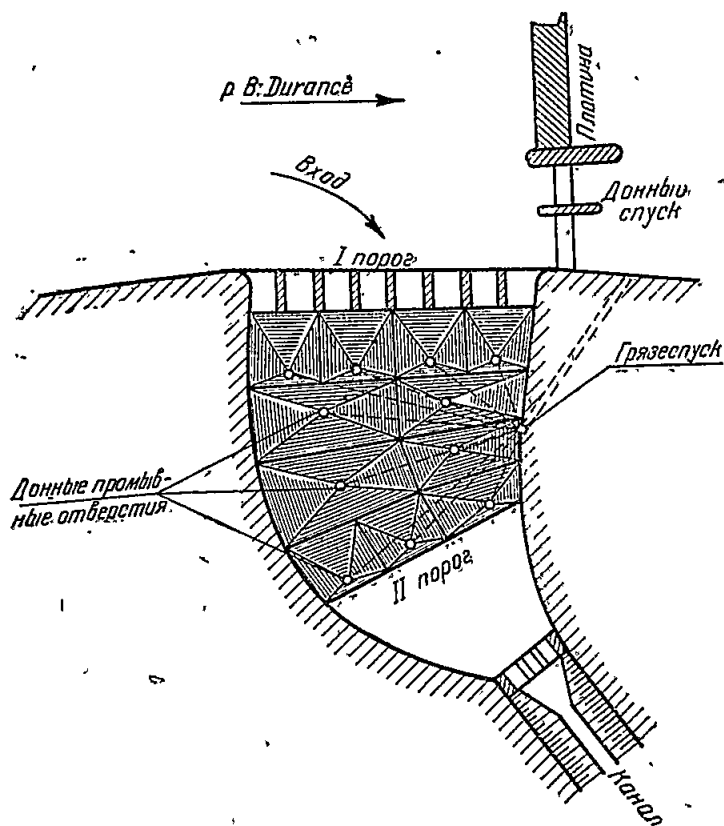


Рис. 45. Водозаборное устройство ГЭС Фентафон.

Таким путём может быть обеспечено удаление наносов со всей площади бассейна (рис. 45). Однако приведённое здесь устройство промывных отверстий не гарантирует от забивки их наносами. Поэтому в порядке эксплуатации необходимо все затворы в период сильного влечения наносов держать несколько приоткрытыми для создания постоянного тока воды в промывных трубах.

На рисунке 46 дно бассейна уподобляется естественной форме песчаных отложений, в виде дюн; промывные отверстия устроены в задней вертикальной стенке, что уменьшает опасность занесения промывных отверстий и галлерей наносами.

Местные промывные средства могут быть превращены в общие путём применения различных мер концентрации возле них наносов или достаточно частой расстановки их по дну (рис. 45). В круглых

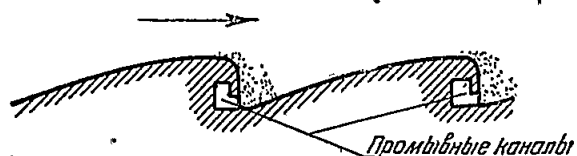


Рис. 46. Пороги в виде дон с промывными галереями:

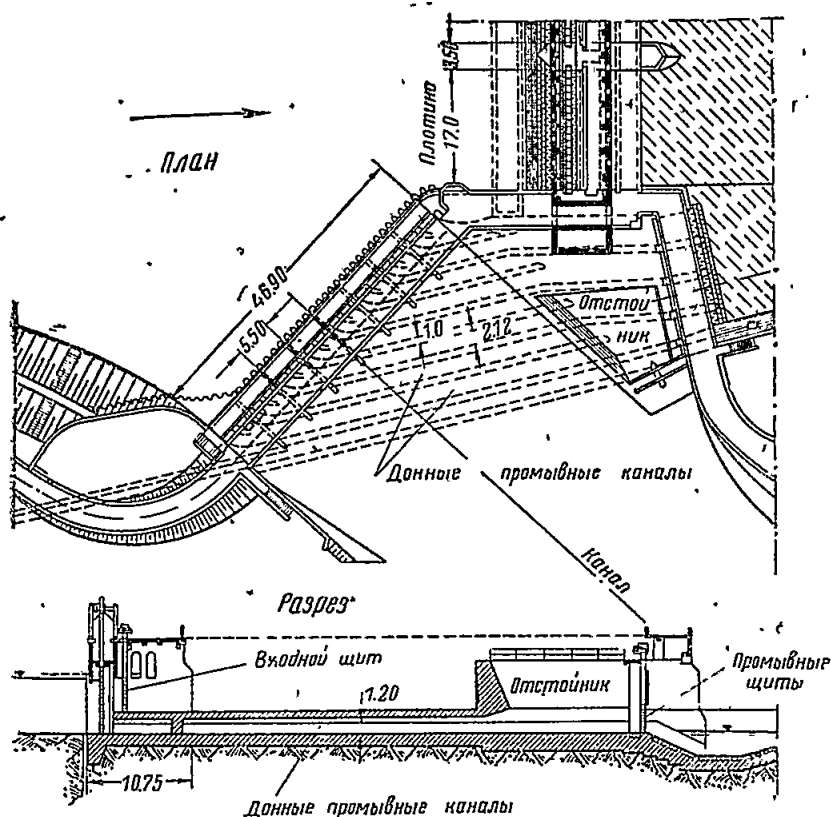


Рис. 47. Водоприёмник Среднеизварской ГЭС с отстойником для промывного расхода.

отстойниках, придавая дну (в разрезе) конусообразное очертание (рис. 32), можно ограничиться одним донным отверстием, которое будет обеспечивать промывку всего бассейна.

Расстановка щелевых промывников (рис. 44) по всей площади дна в сочетании с треугольными выступами на дне для концентрации наносов около щелей обеспечивает также промывку всей площади дна.

При применении механических средств концентрации наносов зона действия местных промывных отверстий может быть доведена до предела, т. е. до охвата всей площади дна бассейна.

Местные промывные устройства являются таковыми при невозможности выключать отстойник для промывки. При выключении же отстойника они легко могут быть использованы для общей промывки отстойника, например, при пуске в бассейн струи из-под щита в начале его.

Местные промывные устройства обычно являются периодически действующими, но при наличии излишней воды (в паводок) могут быть и непрерывного действия. При недостатке воды промывной поток может быть пропущен через вторичный отстойник, подобно тому, как это устроено при Среднеизарском водозаборе (рис. 47).

УСТРОЙСТВА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ НАНОСОВ

Механизмы, применяемые для очистки отстойников, могут быть разделены на: 1) концентрирующие наносы возле промывных отверстий (рис. 82, 83) или в углублениях, откуда и перекачиваются на выброс (рис. 28), и 2) удаляющие наносы из отстойника.

Механическими средствами концентрации (сосредоточения) наносов являются следующие:

1. Скребок на тележке, движущейся вдоль камеры по рельсам (рис. 28, 29). Таким образом, здесь при одном ходе тележки наносы сразу по всей ширине камеры сгребаются в углубление в начале её. При обратном ходе тележки (холостом) скребок поднимается из воды. Для перехода тележки в другие камеры имеется специальный подвижной мостик рядом с отстойником, на который и устанавливается тележка со скребком. Мостик передвигается поперёк камер отстойника.

Очевидно, здесь нельзя допускать накопления толстого слоя наносов, что обычно и имеет место в практике, поскольку скребок работает во время действия камеры без опорожнения её. Наносы должны быть преимущественно мелкие, чаще всего ил и песок) с которыми и приходится иметь дело в канализации, где применяется данная система. При этом скорость движения скребка должна быть незначительной—около 2 см/сек. для канализационных осадков, а в других условиях она должна быть установлена опытами.

Данная система может работать и при опорожнённой камере, тогда скорость движения тележки может быть значительно повышена.

2. Канатные скреперы, работающие при опорожнённых камерах, поскольку они могут сильно вмучивать наносы при обычной значительной скорости их движения. Они имеют применение для очистки отстойников на торфопеработках, т. е. при очень лёгких наносах, слабо уплотняющихся при осадении и используемых по

выкачке из отстойника (направляются на поля разлива). Это последнее обстоятельство не позволяет применить гидромониторов, чтобы не увеличивать содержания воды в гидромассе.

Обе первые системы механизмов применяются в продольных отстойниках при небольших относительно размерах камер.

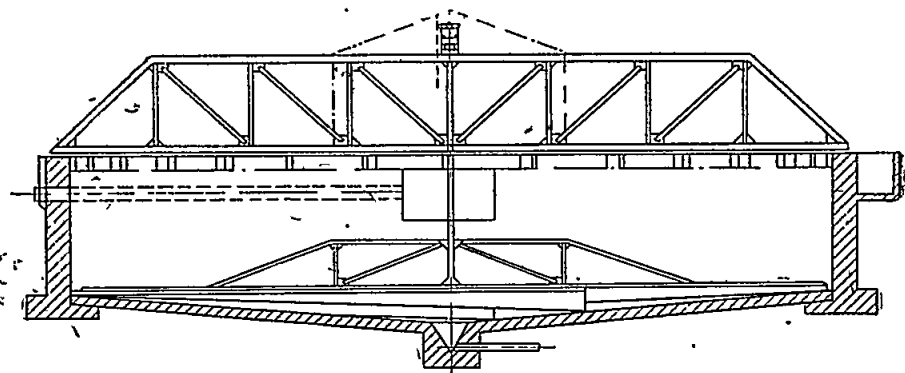
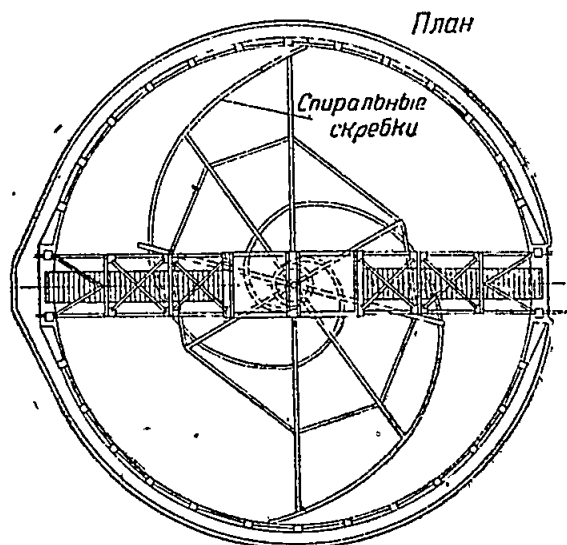


Рис. 48. Спиралевидные направляющие для удаления наносов в круглом отстойнике.

3. Спиралевидные направляющие (рис. 48), применяемые в круглых отстойниках. Такая направляющая, вращаясь с малой скоростью (1 оборот в 10—20 минут) около центра отстойника, сгребает постепенно наносы к центру, где имеется донное промывное отверстие.

Аспирантом Салаховым на моделях установлено, что наиболее эффективной оказывается направляющая, очерченная по логарифмической спирали, имеющей в каждой точке постоянный угол между направлением движения этой точки (по окружности) и касательной к спирали в этой точке.

Скорость вращения направляющей должна быть согласована с количеством выпадающих наносов и с мощностью двигателя, располагаемого на колонке, устанавливаемой в центре отстойника.

При большом количестве наносов можно делать спиралью две и больше. При движении спираль не должна касаться бетонированного дна камеры.

Для облегчения работы спирали дну камер можно придавать некоторый уклон (порядка 0,1) к центру. Данная схема пока имеет применение в канализации, но применение её возможно и в ирригации при мелких наносах и сравнительно небольших расходах воды.

4. С к р е б к и Д о р р а (рис. 49а, б), применяемые преимущественно в канализации и химочистке. В настоящее время имеется опыт применения их в ирригации — в голове Всеамериканского канала (рис. 80а). Сущность работы данного, вращающегося вокруг своей оси, механизма заключается в непрерывном и постепенном сгребании наносов к центру вращения. Для этого прикреплённые к нижнему поясу вращающейся фермы скребки — плоские или криволинейные — расположены под некоторым углом (порядка 30°) к направлению их движения. Таким образом, при вращении фермы около оси каждый скребок будет непрерывно очищать от наносов соответствующую кольцевую полосу, перемещая их в зону, очищаемую следующим скребком. Итак, все наносы последовательно будут сдвигаться к центру, перемещаясь при одном обороте фермы на ширину полосы.

Скорость движения скребков ограничивается возможностью замуливания наносов. С увеличением толщины сгребаемого слоя сопротивление растёт значительно быстрее увеличения её (примерно, пропорционально квадрату толщины).

Поэтому при значительном количестве выпадающих наносов за время одного оборота фермы устраивают две и три такие фермы, расположенные под равными углами друг к другу. При круглых радиальных отстойниках, когда вода в них подаётся в центр, более интенсивное выпадение наносов будет также в центральной зоне отстойника. Это обстоятельство усугубляется ещё и тем, что по мере сгребания наносов с периферии к центру толщина слоя их возрастает, поскольку они будут располагаться на меньшей кольцевой поверхности дна.

Во избежание накопления в центральной зоне значительной толщины наносного слоя устраивают дополнительные скребковые фермы меньшей длины (рис. 49). Таким образом, очистка центральной зоны будет идти вдвое интенсивнее.

Скорость вращения скребковых ферм берётся, примерно, один оборот в 10—15 минут, в зависимости от состава и количества наносов.

В круглых отстойниках на концах ферм укреплены колёса, которыми они опираются на рельсы, уложенные по периметру отстойника.

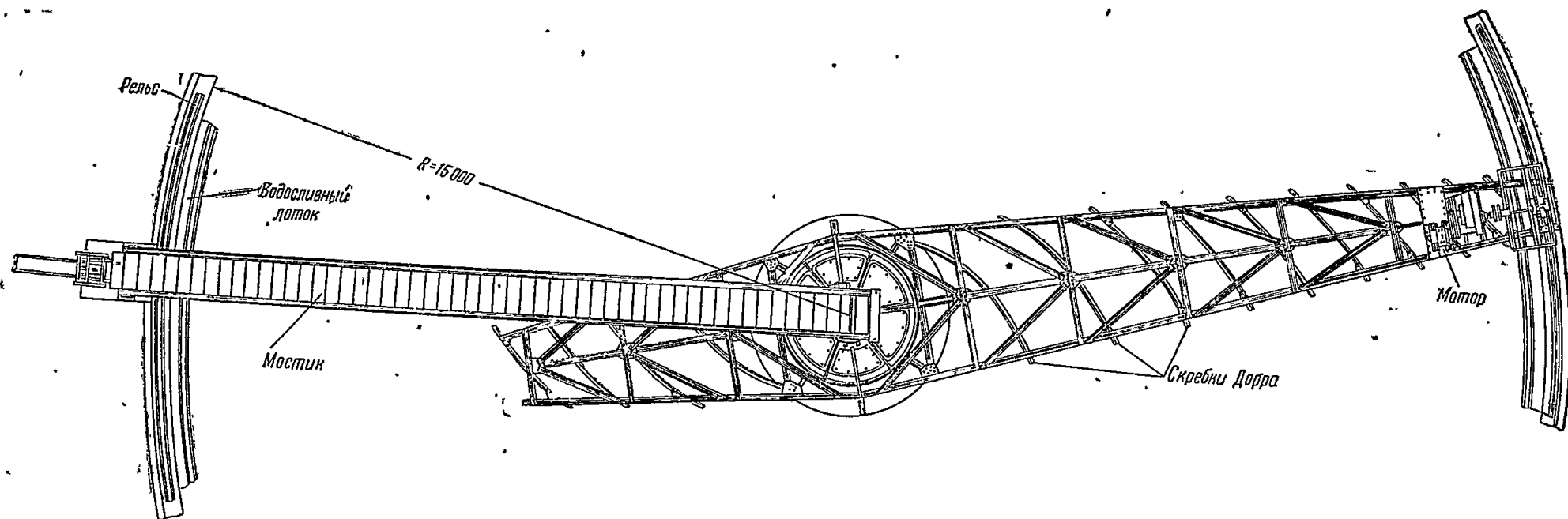
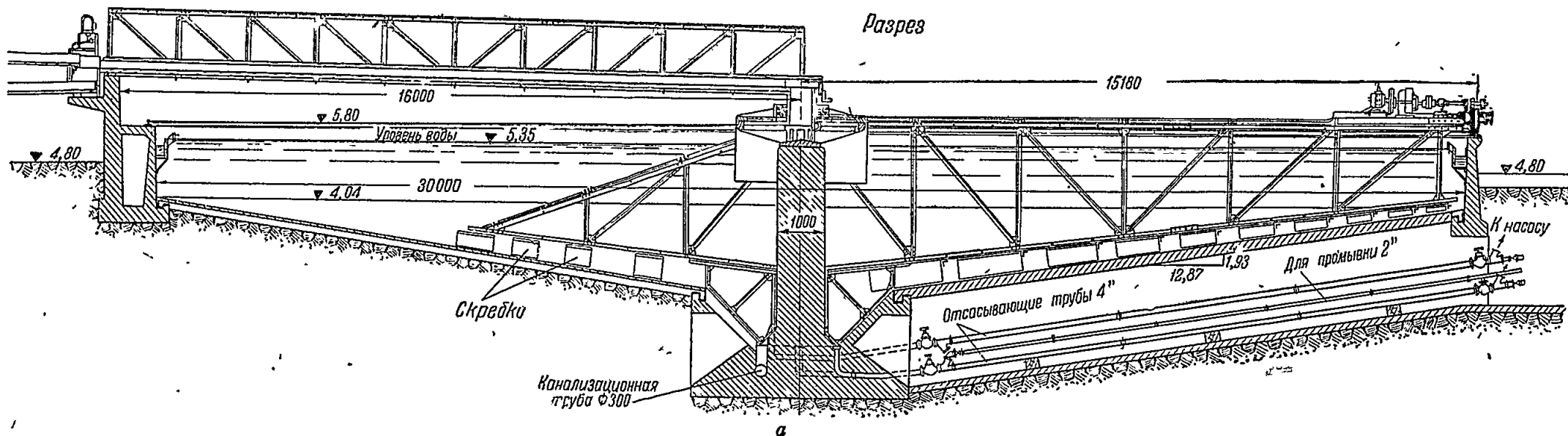


Рис. 49 а, б. Круглый радиальный отстойник со скребками Дорре.

Для приведения во вращение ферм на этих же концах их устанавливаются моторы с редукторами.)

В отстойнике Всеамериканского канала (не круглом) мотор для вращения фермы установлен на центральной колонне. При этом первый по течению ряд скребковых ферм, сгребающий более толстый слой наносов, имеет моторы мощностью по 7,5 л. с., второй ряд—моторы по 3 л. с. при диаметре охватываемой поверхности дна в 38 м.

Удаление наносов производится через донные отверстия, имеющиеся в приемке у основания центральной колонны. Детальное устройство отстойников с подобного рода механизмами описано ниже.

В качестве механических средств для удаления наносов применяются следующие:

1. Экскаваторы, которые могут быть пловучими или на мостовых кранах, перемещающихся над отстойниками. Во избежание взмучивания наносов экскаваторы целесообразно применять при очистке крупных наносов, как это и имеет место в отстойнике гидростанции Брильян, расчётный расход которой составляет 90 м³/сек.

Однако пловучий многочерпаковый экскаватор «Ирригатор»; работающий на очистке отстойника канала Саят-Наухана (река Аму-Дарья), применён для выемки илистых наносов, отлагающихся в низовой части отстойника (1939 г.). Применение там землесса оказалось чрезвычайно невыгодным из-за малой его производительности.

Транспортирование илистых наносов в отвалы при очистке этого отстойника экскаватором производится рефулером. Для этого на снаряде установлен специальный насос. Длина труб рефулера до 150 м. Основные характеристики экскаватора «Ирригатор» следующие:

Размеры снаряда: длина 32 м, ширина 8 м. Осадка в рабочем положении 1,20 м, без нагрузки 0,8 м.

Норма производительности, установленная Сормовским заводом (изготовителем), составляет 35 тыс. м³ за 25 дней при трёхсменной работе. Фактическая выработка (среднегодовая) за 25 дней 50 тыс. м³. При этом снаряд в среднем работает 18 часов в сутки и 6 часов тратит на простои по разным причинам.

Двигатели на снаряде паровые, работающие на мазуте (1 кг стоит 14 копеек).

Для ковшевой цепи двигатель имеет мощность 140 л. с., и для центробежного насоса 170 л. с.

Потребление топлива на 100 м³ вынутого грунта летом 150 кг, зимой 320 кг.

Обслуживающий персонал: 8 человек на палубе и 4 человека в машинном помещении на каждую смену. Туркменводхоз платит по договору 2 руб. 20 коп. за 1 м³ вынутых наносов.

Принцип работы экскаватора—папильонирование в поперечном направлении. Забой в среднем 0,75 м. Наиболее выгодная глубина выемки 1,5—2,0 м.

Снаряд за сутки проходит вдоль отстойника до 75 м, очищая его на всю ширину—60 м¹.

¹ По обследованиям инж. Ф. И. Бохина в 1939 г.

Мостовой многочерпаковый экскаватор на отстойнике гидростанции Брильян обслуживает верхнюю часть отстойника длиной в 250 м и шириной в 43 м. Эта часть отстойника разделена по ширине продольной эстакадой, служащей опорой для двух мостовых кранов, перекрывающих отдельно каждую из частей отстойника. Экскаватор может переходить с одного крана на другой. Экскаватор оборудован электрическим приводом. При перемещении кранов вдоль отстойника, а экскаватора по кранам (поперёк отстойника) обеспечивается очистка наносов на всей площади дна отстойника.

Наносы экскаватором выбрасываются на ленточный транспортёр, натянутый на каждом кране, и далее через воронки — бункера сбрасываются в вагонетки и отвозятся на береговые отмели. Производительность экскаватора, в зависимости от толщины отложившихся наносов, составляет 7—10 м³/час. Мощность мотора на экскаваторе 20 л. с. Для обслуживания экскаватора и отвозки вынутых наносов требовалось 10—12 рабочих и $\frac{1}{4}$ лошади в течение паводковых периодов.

Применение иного типа экскаватора — грейферного — можно отметить в золоотстойниках на тепловых электростанциях, работающих на угле, торфе и др. В качестве конкретного примера можно указать на трёхкамерный золоотстойник Сталиногорской ГРЭС № 10 им. Сталина. Здесь грейфер перемещается по крану, установленному над отстойником в крытом помещении. Разгрузка камер от золы производится при выключении их из работы. Транспорт золы производится по железной дороге в гондолах (рис. 30).

2. З е м л ё с о с ы, которые также могут быть пловучими и на мостовом кране, перемещающемся вдоль отстойника. Наиболее выгодные условия работы землесоса — при очистке песчаных отложений. Поскольку землесосы не взмучивают наносы, было бы целесообразно их применять для очистки илистых отложений. Но опыт применения их для этого на отстойнике Саят-Наухана показал сильное снижение производительности — больше чем вдвое. Поэтому очистка отстойника Саят-Наухана производится в верхней части, где отложения песчаные, землесосами, а в нижней части, где отложения илистые, экскаваторами.

В качестве землесосных снарядов применяются два типа их, «Туркмен РЭС» и Янгватова. Землесос «Туркмен РЭС» пловучий, имеющий такие размеры: длина 16 м, ширина 5,5 м, осадка в рабочем положении 0,65 м. В качестве двигателя применён трактор ЧТЗ в 60 л. с., работающий на лигроиине (1 кг стоит 1 рубль). Центробежный насос 6" (Морис) соединён с трактором на одном валу. Гидромасса транспортируется на берег по металлическому трубопроводу, расположенному на понтонах.

Норма выработки на песчаных грунтах за 25 дней при трёхсменной работе 20 тыс. м³, фактическая выработка несколько превышает её. При работе на очистке илистых отложений выработка снизилась до 8 $\frac{1}{2}$ тыс. м³ за то же время. Команда снаряда состоит из четырёх человек.

Землесос очищает отстойник за два прохода, поскольку размеры его при папильонировании позволяют охватить полосу шириной до

35 м. За сутки землесос проходит вдоль отстойника 67 м по одной стороне. Простой составляют до 10% времени.

Длина всасывающей трубы (6 м) определяет и предельную глубину работы землесоса.

Землесос потребляет лигроина 27,3 кг на 100 м³ вынутых наносов.

По договору Туркменводхоз платит за 1 м³ вынутых этим землесосом наносов 1 руб. 90 коп.

Землесос Янгватова имеет в качестве двигателя трактор СТЗ 30 л. с. Нормы выработки за 25 дней при трёхсменной работе 9,3 тыс. м³, фактическая выработка этим землесосом достигает 15 тыс. м³. По договору за 1 м³ вынутых этим землесосом наносов платят 1 руб. 83 коп.¹

В отстойнике гидростанции Андельсбуш применён землесос сифонный—без двигателя, использующий имеющийся перепад.

Землесос на мостовом кране применён в отстойнике канала гидростанции на реке Лу (Америка) (рис. 50). Отстойник имеет длину 3,2 км, ширину по дну 63,0 м и глубину воды 4,9 м и рассчитан на осаждение илистых наносов при скорости течения в 0,20 м/сек. Отстойник имеет внутренние откосы боковых дамб 1 : 2.

Над бассейном перекинута платформа на металлических фермах пролётом в 94,5 м, перемещающаяся вдоль отстойника. На этой платформе установлены два 24-дюймовых насоса, перемещающихся по ней поперёк отстойника.

Наносы этими насосами подаются в лоток, уложенный вдоль подвижной платформы (рис. 50), откуда они сбрасываются в специально устроенный на правой насыпи отстойника грязевой канал, облицованный бетоном. Канал этот имеет ширину по дну 1,08 м, глубину 1,22 м, откосы 1 : 1,5. От оси отстойника до оси грязевого канала расстояние 60 м. Общее падение этого канала составляет 3,67 м. В конце отстойника грязевой канал переходит в металлический лоток, расположенный на астакаде. На расстоянии 915 м от конца отстойника этот лоток сбрасывает наносы в реку Лу.

3. Г и д р о м о н и т о р ы, которые требуют выключения отстойника на время чистки и наличия перепада для гидравлического транспортирования смываемых наносов или специальной перекачивательной насосной установки. Гидромониторы обеспечивают полную очистку отстойника, тогда как, например, при землесосной очистке известная часть отстойника всегда будет оставаться заваленной в той или иной степени наносами.

4. С т а ц и о н а р н а я н а с о с н а я у с т а н о в к а, служащая для перекачки подгрёбаемых к ней наносов в продольном отстойнике (рис. 28) или концентрируемых автоматически в круглых вертикальных отстойниках (рис. 33).

5. И л о с о с ы (рис. 54), применяемые во вторичных отстойниках в канализации, представляют собой вращающуюся горизонтальную трубу с всасывающими патрубками, расставленными на соответствующем расстоянии друг от друга, обеспечивающем удаление наносов по всей поверхности дна круглого отстойника.

¹ Все основные данные по этим землесосам получены от инж. Ф. И. Божина.

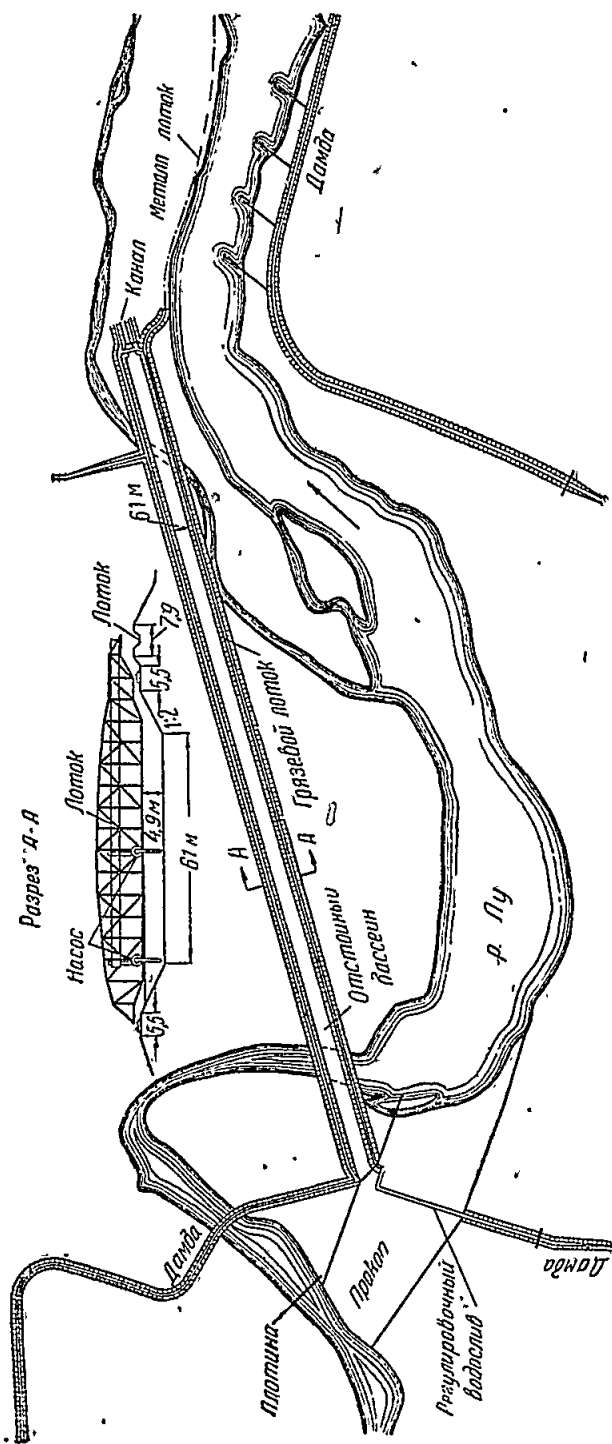


Рис. 50. Землесос на мостовом крае в отстойнике ГЭС на реке Лу (Америка):

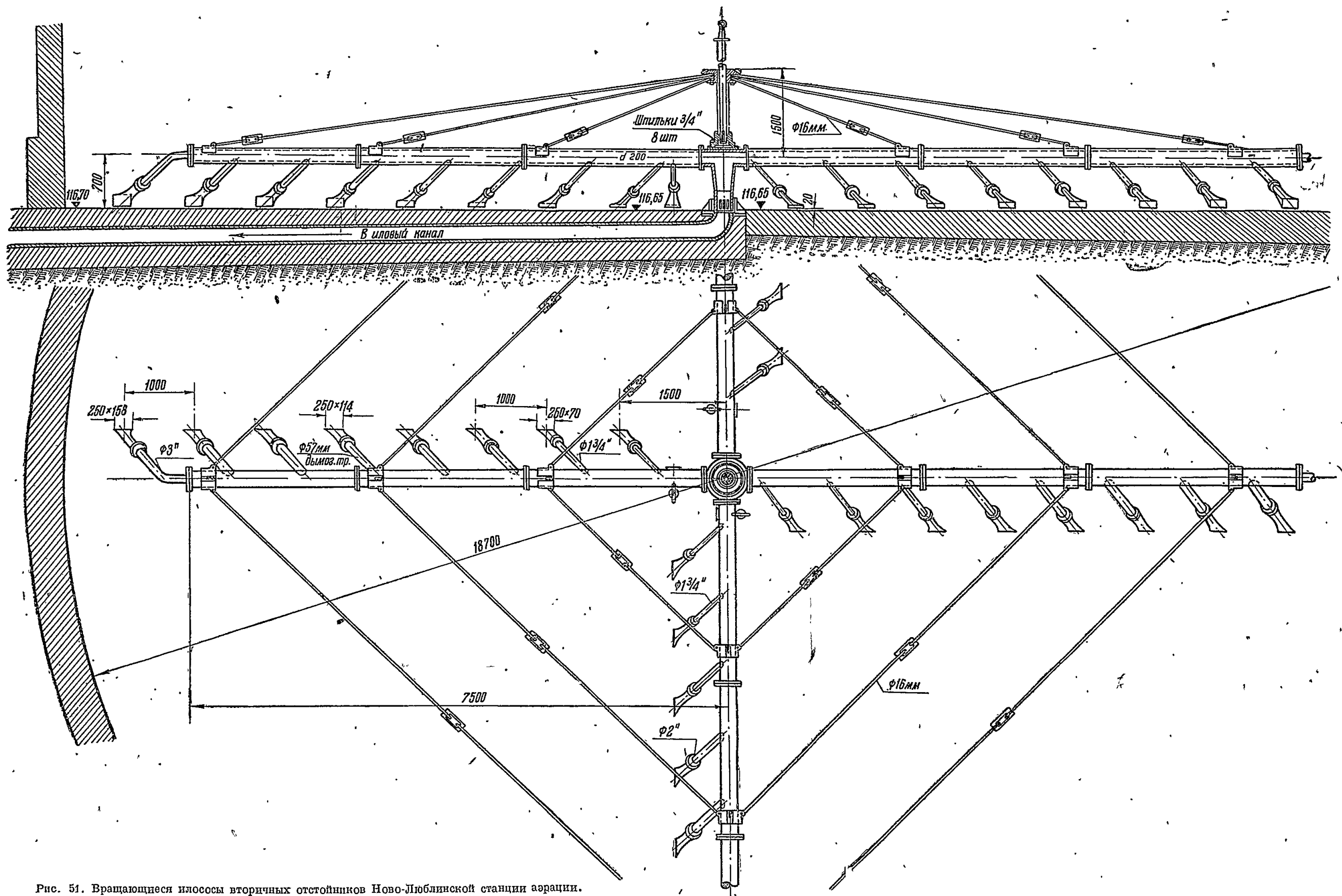


Рис. 51. Вращающиеся илососы вторичных отстойников Ново-Люблинской станции аэрации.

Илососы рассчитаны на удаление сильно разжиженной гидромассы с мельчайшими наносами. Для удаления песчаных наносов система требует дополнительной проработки для обеспечения против забивки («захлёбывания») отдельных сосунов и для гарантирования сплошной очистки дна от наносов.

В этом отношении заслуживает внимания галлерея по идее инж. Колесникова (46), принимаемая в качестве всасывающего патрубка землесосов. Сущность её заключается в следующем.

Вместо обычного сосуна землесоса укрепляется на конце всасывающей трубы горизонтальный патрубок необходимой длины (может быть до нескольких метров). Внизу этого патрубка, несколько сбоку,

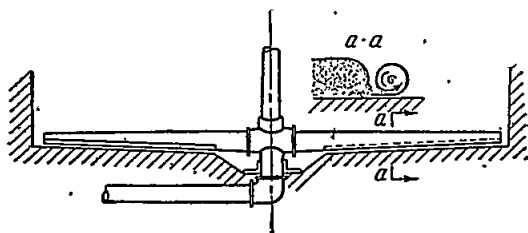


Рис. 52. Илососы с винтовым движением промывного потока.

делается продольная щелевая прорезь, ниже которой к трубе прикрепляется горизонтальный нож (рис. 52). Таким образом, вода в патрубок будет поступать через щель по касательной к окружности, что создаёт вращательное движение её внутри трубы. При наличии поступательного движения воды в патрубке в нём будет образовываться винт, который сильно повышает транспортирующую способность потока. Для сохранения постоянства скорости течения в патрубке он делается коническим. Если такой патрубок применить в качестве илососа в круглом бассейне, то он обеспечит сплошную очистку наносов и может свободно забирать песчаные и гравелистые наносы. Опыты на модели вполне это подтверждают.

6. Э р л и ф т ы, применяемые для илстых наносов.

7. Г и д р о э л е в а т о р ы.

СРЕДСТВА ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ОТЛОЖЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ

Основным средством для стимулирования отложений наносов является уменьшение средней скорости течения потока, которое обычно достигается увеличением живого сечения его.

Кроме уменьшения средней скорости течения, имеет весьма существенное значение и равномерность распределения скоростей по сечению. В большинстве осуществлённых отстойников нет достаточной равномерности скоростей в камерах, а в ряде случаев неравномерность скоростей столь значительна (вплоть до образования водоворотных зон), что она отражается весьма существенно на работе отстойника.

ния выпадения частиц можно достичь путём уменьшения глубины камер к выходному концу их, но значительно больший эффект в этом отношении можно получить применением многоярусных отстойников. Заслуживает внимания принципиальное предложение инж. П. Н. Сурова, сводящееся к устройству двухэтажного отстойника (рис. 54).

При уменьшении глубины вдвое должна и длина камер сократиться вдвое. Однако конкретно предложенная конструкция отстойника — периодически промываемого — имеет ряд недостатков. Не учтён ха-

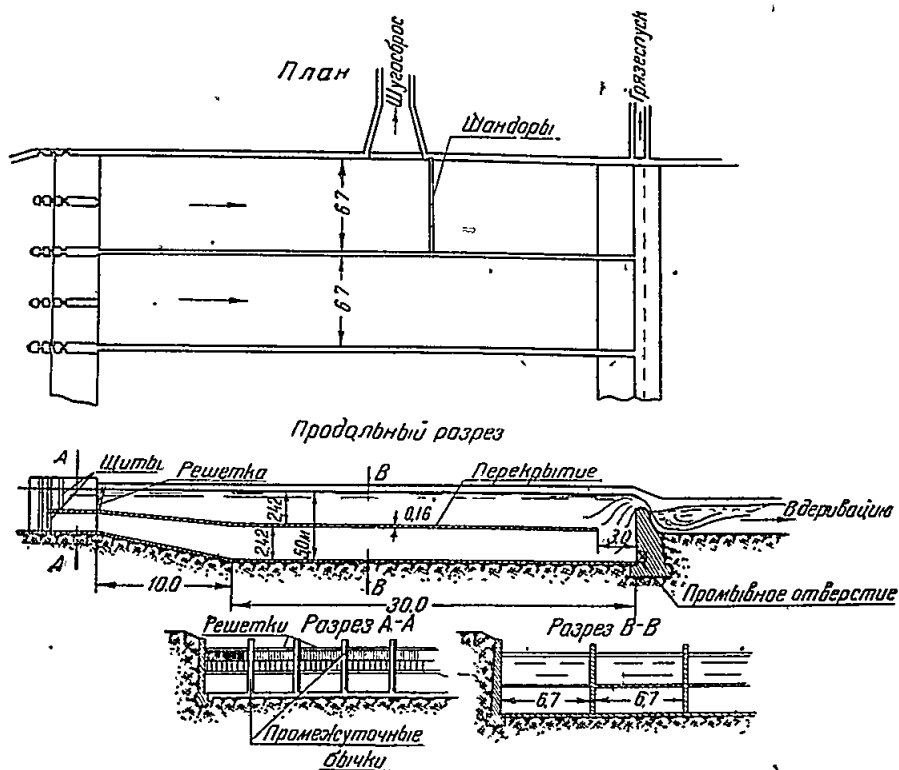


Рис. 54. Двухэтажный отстойник конструкции инж. Сурова.

рактер выпадения наносов в камерах. Вследствие сильного стеснения потока наносами в начале отстойника, скорости там возрастут, и рабочая часть камеры сократится. Это особенно отразится на работе нижней атака (камеры), поскольку в нём будут отлагаться наносы из придонных слоёв, т. е. более крупные и значит скорее выпадающие. Промывка нижней камеры должна быть чаще, чем верхней. Но промыть нижнюю без опорожнения верхней камеры нельзя.

Учитывая это обстоятельство, а также известные трудности при конструировании таких камер с запасными объёмами для наносов, было бы целесообразнее применение в них непрерывной промывки или

целевой, не требующей выключения отстойника и осуществляемой в каждом этаже независимо друг от друга.

Но, кроме указанного недостатка, следует ещё отметить возможную неравномерность работы верхней и нижней камер при колебании уровня воды в реке: глубина нижней камеры будет оставаться постоянной, а верхней будет меняться.

Следовательно, длина верхней камеры теоретически должна быть больше, чем нижней, особенно если учесть также и большие скорости течения в ней. Это обусловит удлинение по конструктивным соображениям нижней камеры.

Имеется ещё ряд предложений для усиления отложений наносов, сводящихся к созданию малых восходящих скоростей в горизонтальном отстойнике. Предполагается, что если удастся получить скорость движения потока в вертикальном направлении меньше гидравлической крупности частиц; предназначенных к выделению в отстойнике, то эти частицы не могут быть вынесены из него и неизбежно выпадут.

На рисунке 63 представлена конструкция отстойника, предложенная Кешлен (описание см. в главе VI). Здесь поток при выходе из отстойника поворачивает вверх и должен двигаться с очень малыми скоростями, поскольку горизонтальное сечение выходной части камер значительно больше вертикального сечения их в конце. Для обеспечения равномерного распределения восходящих скоростей в горизонтальной плоскости установлена решётка. Однако следует иметь в виду, что конструирование такой решётки встретит серьёзные затруднения.

Эта же идея была использована при конструировании отстойника гидроустановки Аккерзанд. Здесь по всей длине камеры установлены вертикальные перегородки (рис. 55) на равной высоте над дном, меняющейся пропорционально расстоянию перегородки от начала камеры. Размеры всех перегородок одинаковы; следовательно, верх их будет находиться, так же как и низ; на наклонной прямой линии. Характер предполагаемого потока показан стрелками на рисунке. При расходе в $4,5 \text{ м}^3/\text{сек.}$ вертикальные скорости должны были получиться равными $4,7 \text{ см/сек.}$

Работа этого отстойника оказалась неудовлетворительной. Этого и следовало ожидать, поскольку только указанными средствами добиться равномерности вертикальных скоростей невозможно. Кроме того, усиленное отложение наносов в начале камер стеснит живое сечение и будет нарушать теоретическую картину потока.

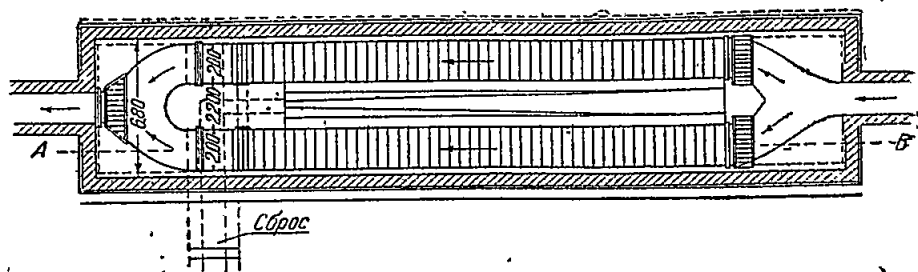
Вообще установление таких перегородок стесняет живое сечение и увеличивает продольные скорости течения, что ухудшает условия отстоя наносов.

Достичь соответствующего изменения характера потока в отстойнике пытался Гиндеркс (93) в своих опытах на модели отстойника. Результаты его опытных исследований могут быть сведены к следующему:

1. При подаче воды в бассейн тонким переливающимся через водослив слоем картина потока в нём может быть получена различная, в зависимости от характера переливания воды. При незатопленном

водосливе струя падает вниз по стенке бассейна и образует вначале водоворот с обратным течением на поверхности. При недостаточно длинных камерах этот водоворот может распространиться на всю их длину, и тогда у выходного водослива движение будет снизу вверх, усиливая обычные восходящие токи перед ним.

План



Разрез по АВ

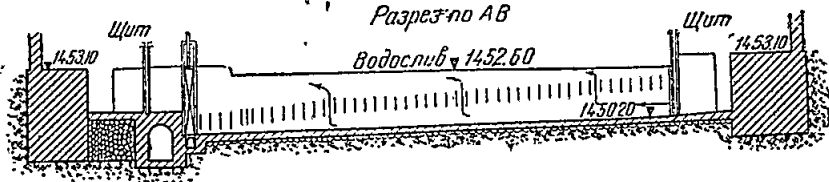


Рис. 155. Отстойник ГЭС Аккерланд.

При затопленном водосливе создаётся поверхностная струя, и тогда в бассейне образуется водоворот с обратным донным течением. При достижении этим водоворотом выходного водослива там будут образовываться течения сверху вниз, ослабляя обычные восходящие токи перед ним.

Оба состояния потока достаточно устойчивы.

При постепенном уменьшении подтопления входного водослива можно получить в бассейне переходное состояние, когда вода падает в него косо, растекаясь. Такое состояние наиболее благоприятно, но оно неустойчиво.

Для ослабления выноса наносов затопленный водослив выгоднее, поскольку частицы в конце бассейна будут увлекаться течением вниз.

При удлинении бассейна, когда водоворот не достигал его конца, в низовой части скорости получались достаточно выравненными по сечению. Таким образом, сочетание водоворота с обратными донными токами в первой половине отстойника и равномерного течения во второй может быть наиболее благоприятным для максимального выделения наносов.

2. При введении забральной поперечной стенки в середине бассейна и при подаче воды поверхностным током водоворот в нём разделяется на две части: до забрала водоворот с обратными донными

токами, за забралом — с обратными поверхностными токами, т. е. получалось неблагоприятное действие восходящих донных токов у выходного водослива.

3. При внесении двух забральных стенок по длине отстойника, при поверхностном режиме потока при входе, поток разделяется на два водоворота с взаимно обратным вращением. Здесь особенно неблагоприятно усиленное донное течение во втором водовороте — между забральными стенками, увеличивающее вынос наносов, уже опустившихся в донные слои потока.

К сожалению, Гиндеркс не провёл опытов с выпадением наносов для сопоставления влияния различных схем течений на осветление потока.

Кроме рассмотренных конструктивных мер, для усиления осветления потока применяется, главным образом, в водоснабжении химический способ, увеличивающий гидравлическую крупность наносов путём коагуляции их.

В ряде случаев целесообразно усилить выпадение наносов путём уменьшения сопротивления среды — вязкости воды — нагреванием её.

Этот метод с успехом может быть использован в золоотстойниках ГРЭС, где подогрев смывной воды легко осуществим и где весьма существенную роль играют мельчайшие фракции золы, необходимые для выделения в отстойнике.

Оба последних метода имеют значение лишь для ускорения выпадения мельчайших частиц наносов — илстых.

СРЕДСТВА ДЛЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ОТЛАГАЮЩИХСЯ НАНОСОВ

Насыщение промывного потока наносами может быть повышено, а промывные устройства удешевлены применением различных средств концентрации отлагающихся наносов. Этим достигается также сокращение времени промывки и величины промывного расхода.

Применяемые средства концентрации могут быть разбиты на конструктивные и механические.

Из конструктивных средств наиболее распространённым и простым являются откосы в различных сочетаниях, обеспечивающие сползание по ним наносов. Для этого угол наклона откоса к горизонту берётся в пределах $42-45^\circ$.

Откосы в поперечном сечении позволяют концентрировать наносы на узкой полосе дна камеры в отстойниках Дюфура и Соколова (рис. 42, 43). Устройство ряда воронок по всей площади бассейна в отстойнике гидроустановки Фентафон (рис. 45) позволило при ограниченном числе промывных отверстий обеспечить промывку однокамерного невыключаемого, из работы бассейна.

Очистка круглых вертикальных отстойников обеспечивается одним сосуном, расположенным в центре камеры, где концентрируются и наносы, сползая по откосам дна (рис. 32).

Углубление в начале камер позволяет накапливать здесь наносы без ухудшения работы камер (рис. 27, 24). При отсутствии таких углублений наносы стесняют сечение и с возрастанием скоростей начинают продвигаться ниже, сокращая рабочую длину камер, как

это наблюдается, например, в отстойнике Малка-Курунского канала (рис. 120);

Для уменьшения промывного расхода и увеличения периода между промывками устраивают бассейны с запасными камерами для скопления наносов (рис. 56). Во время работы бассейна щит в запасную камеру открыт, и наносы по наклонному дну бассейна сползают в неё. При заполнении камеры наносами этот щит закрывается, и открывается промывной щит запасной камеры. Такой способ концентрации целесообразен, когда необходимо ещё достичь и известного уплотнения илистых наносов, что обычно имеет место в канализации;

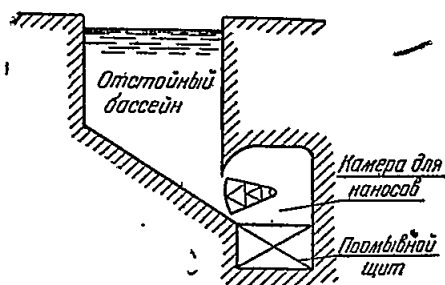


Рис. 56. Отстойник с запасной камерой для наносов.

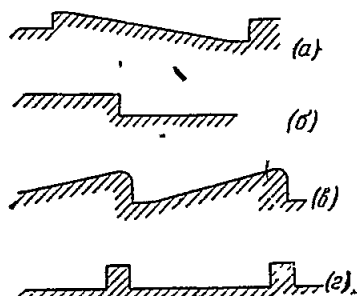


Рис. 57. Схемы порогов.

Необходимо ещё отметить в качестве средств концентрации наносов пороги, применяемые при движении наносов по дну и в небольшом количестве, в противном случае пороги будут быстро завалены отлагающимися взвешенными наносами. При этом следует различать некоторые разновидности порогов (рис. 57). При входе в бассейн и при выходе из него пороги представляют собой ступени вверх (рис. 57, а); внутри же бассейнов пороги могут быть ещё и в виде уступов (рис. 57, б, в) или выступов над дном (рис. 57, г). Последние менее пригодны вследствие скопления наносов по обе стороны их. Этим осложняется промывка.

В качестве механических средств концентрации применяются: 1) скребки Дорра (рис. 49) преимущественно в канализации и при химической очистке загрязнённых вод. Но с постройкой Всеамериканского канала (рис. 75) этот метод концентрации нашёл удачное применение и в ирригации (см. описание этого отстойника); 2) спиралевидные направляющие (рис. 48) пока применяются преимущественно в канализации; оба эти средства вращательные и концентрируют наносы возле одного промывного отверстия в центре вращения концентраторов; 3) скребки на вагонетках, движущихся вдоль камеры отстойника (рис. 28). Эти скребки концентрируют наносы в начале камер, где устраиваются соответствующие углубления; отсюда наносы перекачиваются в сброс; 4) скреперы на тросах, выполняющие ту же роль, что и скребки на тележках.

Два последних способа, хотя и применяются при мельчайших наносах, но они в этих условиях без исключения камер-мало пригодны, так как будут легко взмучивать ил, обычно представляющий на дне слой жидкой массы. Значительно лучше эти средства будут работать при песчаных наносах, хотя сопротивление при их перемещении возрастёт. При этом и скорость перемещения скребков здесь может быть значительно повышена по сравнению с очисткой илистых наносов.

БОРЬБА С МУСОРОМ И ЛЬДОМ В ОТСТОЙНИКАХ

Обычно стремятся не допускать в бассейны ни льда, ни крупного мусора путём установки при входе забиральной стенки и грубой решётки. Мусор и лёд в бассейне повысят турбулентность потока,

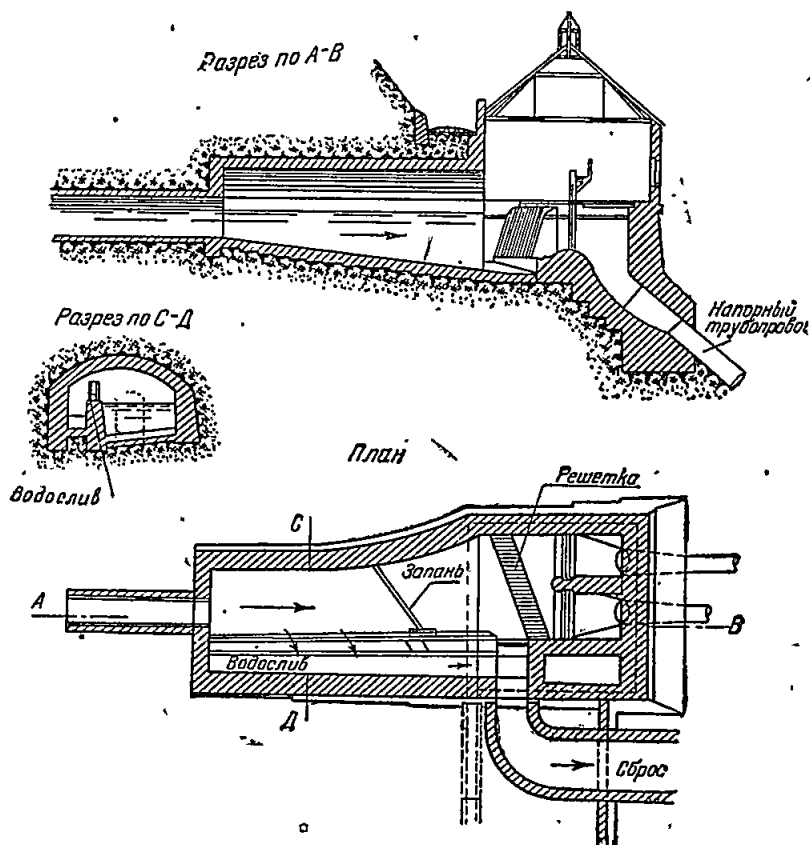


Рис. 58. Напорный бассейн ГЭС Зильверк с защитными мерами против льда и мусора.

а стеснение живого сечения повысит и скорость его. Кроме того, если мусор и лёд будут улавливаться в бассейне и обрасываться из него, то это также обусловит увеличение скорости течения.

Особенно важно недопущение льда и мусора в бассейны при секционном их устройстве, так как затруднительно устройство ледосбросов из средних секций. Однако следует также иметь в виду, что в зимний период наносов бывает мало и нередко нет нужды в отстойнике, тогда вообще целесообразней, в зависимости от климатических условий, предусматривать возможность отключения бассейна на зимний период, упрощая тем его эксплуатацию.

Для подачи же воды в деривацию устраивать обводный канал или использовать для этого одну из секций отстойника (рис. 65).

В отстойниках с непрерывной гидравлической промывкой, особенно в системе Дюфура, донная решётка может забиться мусором или шугой. Точно так же и в отстойниках со щелевыми промывниками Сокерина—Ярошена эта опасность существует. Следовательно, в начале отстойников с указанными промывными устройствами должны быть приняты меры по недопущению в них шуги и крупного мусора; мелкий мусор—листья—может быть безвреден для них.

Эти указания относятся также к отстойникам с механической чисткой наносов.

Однако в практике строительства нередки случаи, когда необходимо предвидеть льдо- и мусорозадерживающие и сбросные устройства. В частности, когда отстойник совмещается с напорным бассейном гидростанции и впереди имеется довольно длинная деривация или когда отстойник однокамерный без регулирующих устройств в начале его, тогда средства борьбы со льдом и мусором сосредотачиваются в конце бассейна.

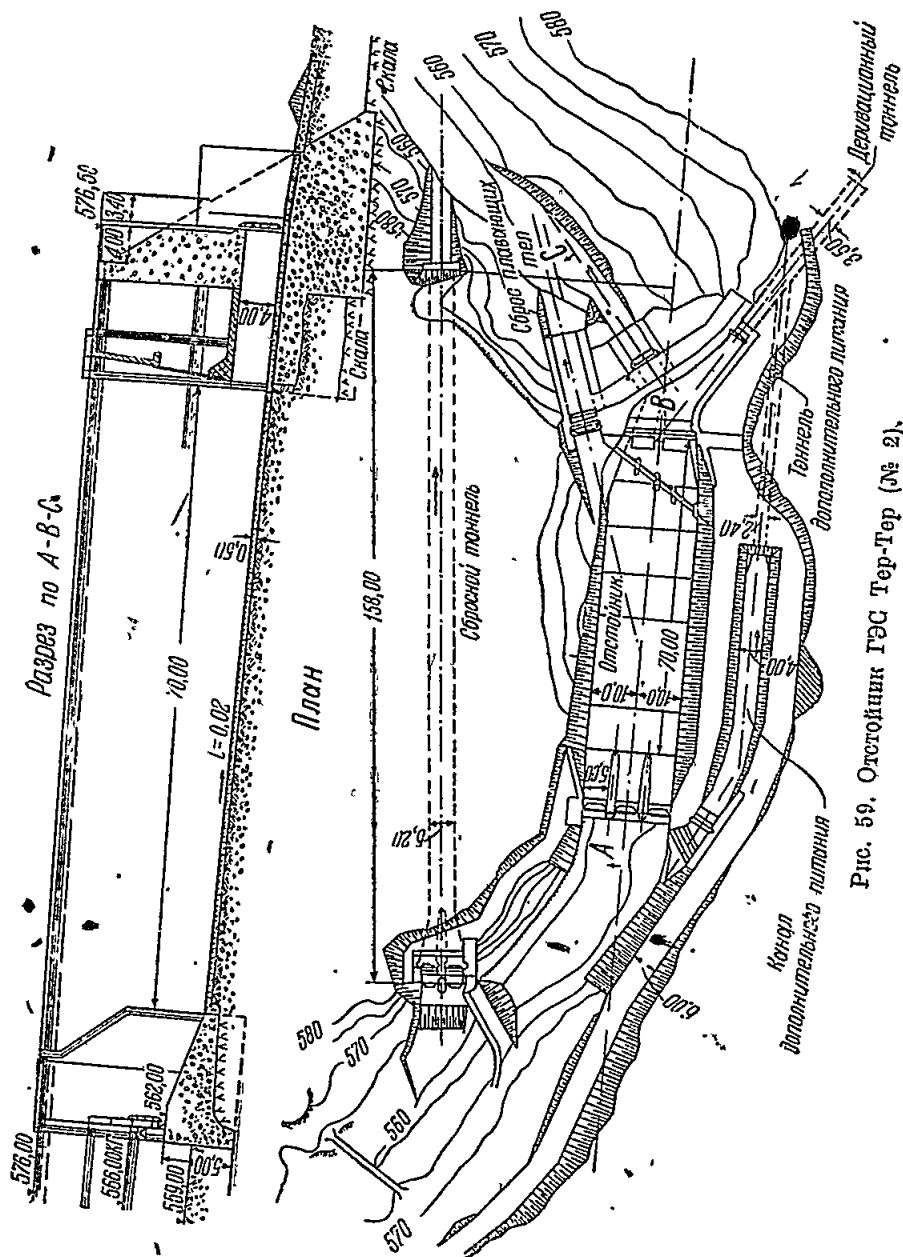
В качестве ледозащитных средств обычно применяют забрала перед входом в турбинные камеры напорного бассейна или пловучие запаны (рис. 58) при значительном колебании уровня воды в бассейне.

В отстойнике Тертерской гидростанции (рис. 59) в конце однокамерного бассейна установлены забральная стенка, мелкая решётка и боковой сброс, поскольку иного пути для сброса мусора и льда нет: водоприёмное сооружение отстойника является здесь и перегораживающим реку, сброс же паводка производится через тоннель, через который сбрасывать лёд и мусор представляется небезопасным в отношении забивки его¹. В связи с этим в голове отстойника нет никаких задерживающих лёд и мусор устройств.

Отстойники могут быть с успехом использованы для выделения не только наносов, но и мусора и шуги. При малых скоростях они будут всплывать на поверхность, и тогда удаление их облегчается. В отстойнике Арагонской ГЭС (рис. 18) в конце установлена косо по отношению к направлению потока забральная стенка, снабжённая во второй камере (левой) логком для улучшения смыва мусора. Верховой борт этого лотка погружён под уровень, так что всплывающий мусор сам попадает в лоток и удаляется по мере накопления через специальное промывное отверстие в борту отстойника.

Такого рода приспособления полезны для борьбы с сорняками. Правда, семена и корешки сорняков попадают в поток в большом

¹ Забивка тоннеля льдом произошла на Ленинанканской ГЭС в первый же год её эксплуатации (1928—1929 г.).



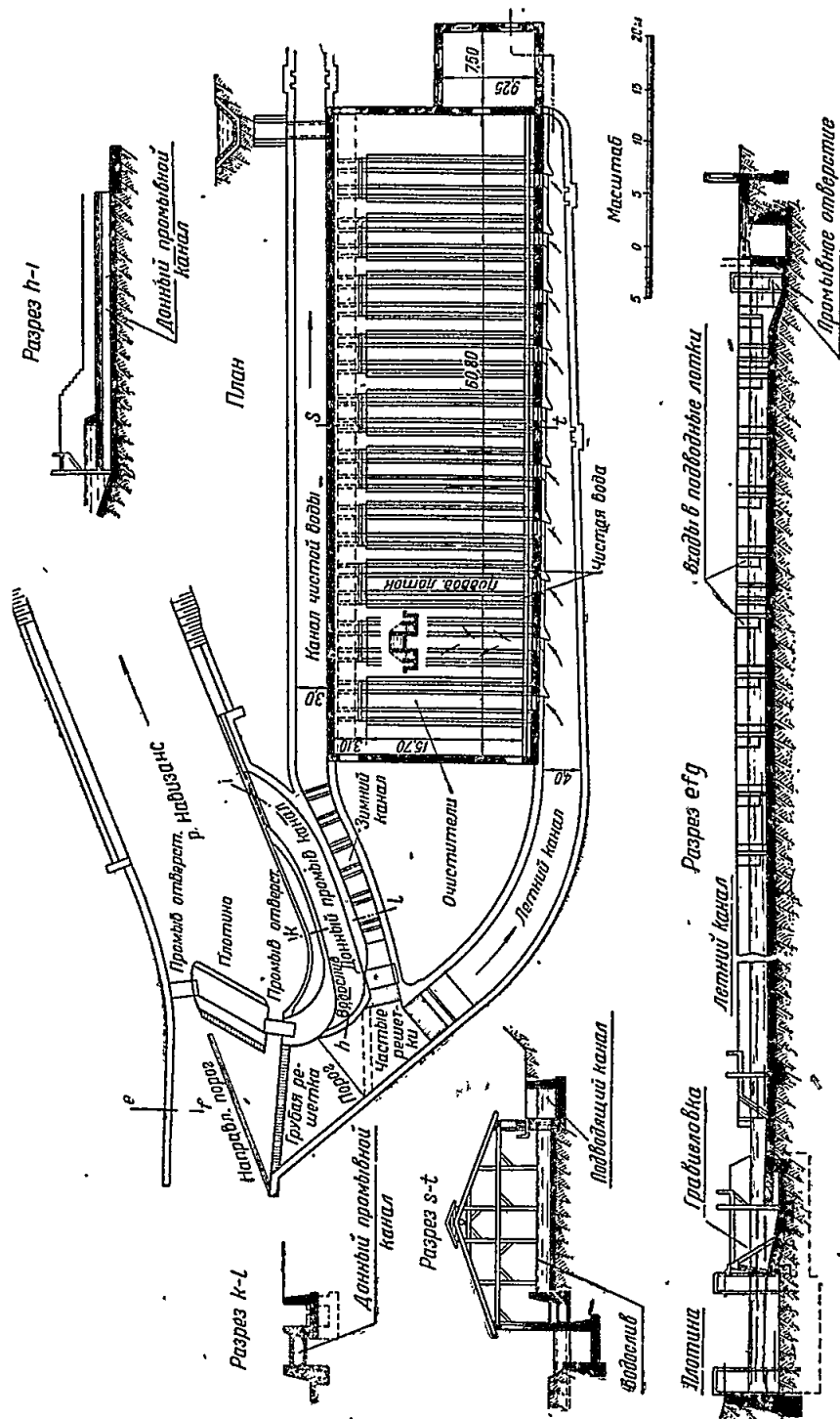


Рис. 60. Отстойник ГЭС Чинши.

количестве в каналы за отстойником, но всё же известного ослабления засорённости орошаемых полей можно достичь такими попутными мероприятиями в отстойниках и тем более, если отстойники устраиваются не только в голове магистральных каналов, но и на распределителях.

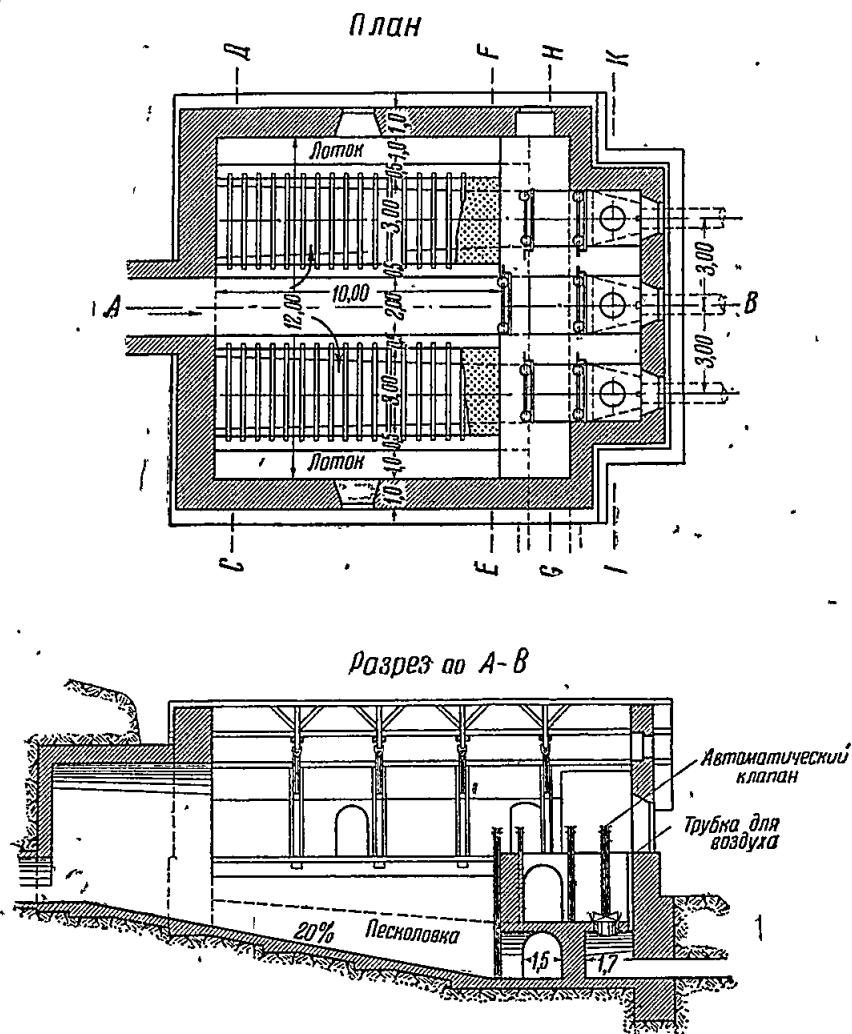


Рис. 61. Напорный бассейн ГЭС Аккерванд.

Интересно по идее устройство для борьбы с мусором в отстойнике гидроустановки Чишиис (рис. 60). Осветлительный бассейн состоит из десяти отдельных каналов (камер), расположенных нормально к подводящему каналу. Осветлённая вода вместе с всплывшим мусором переливается через оба борта камер и, проходя через наклонно

поставленные по обе стороны решётки, попадает в каналы чистой воды, оставляя мусор на решётках. Решётки, имеющие 7 отверстий на 1 см², имеют такой наклон к горизонту, что мусор по ним постепенно сдвигается потоком книзу и сваливается в специальные канавки, расположенные по обе стороны осветительных камер, рядом

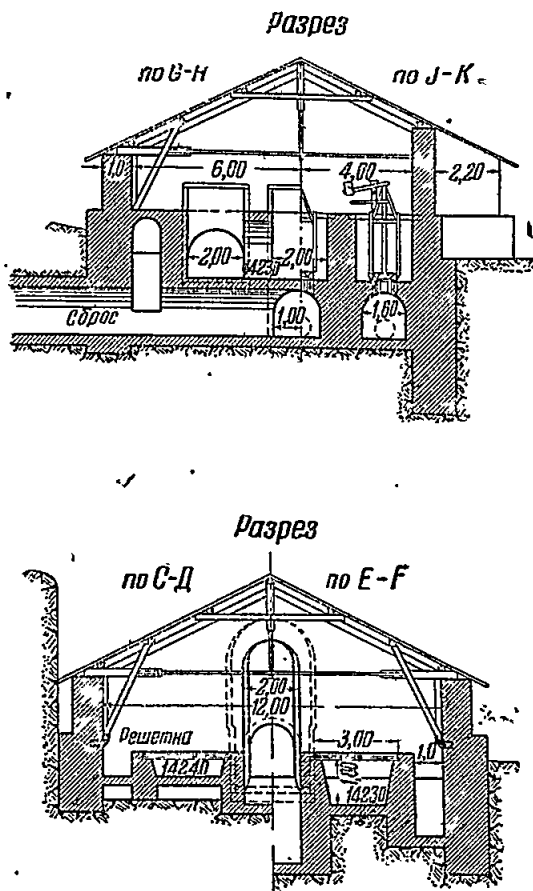


Рис. 61. Напорный бассейн ГЭС Аккермунд (разрезы).

с каналами чистой воды. Оттуда мусор смывается в общий промывной канал, служащий и для смыва наносов из камер.

Подобного же рода конструкция использована для борьбы с мусором в напорном бассейне гидроустановки Аккермунд (рис. 61).

В отстойнике, предложенном Кешлен (рис. 63), распределительная горизонтальная решётка может быть использована и для задержки мусора. Очистка её будет происходить автоматически при промывке камер обратным током воды.

ХАРАКТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ОТСТОЙНИКОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

В зависимости от состава и характера конструктивных элементов отстойники получили своё название. Поэтому представляется возможным продолжить начатую выше классификацию их.

СИСТЕМЫ С ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПРОМЫВКОЙ

Периодически промываемые отстойники.

1. Отстойник Кешлена (рис. 62) состоит из ряда нешироких, вытянутых в направлении течения камер прямолинейного очертания в плане. Вход в камеры производится через донные отверстия, перекрываемые щитами. Непосредственно за входом установлена

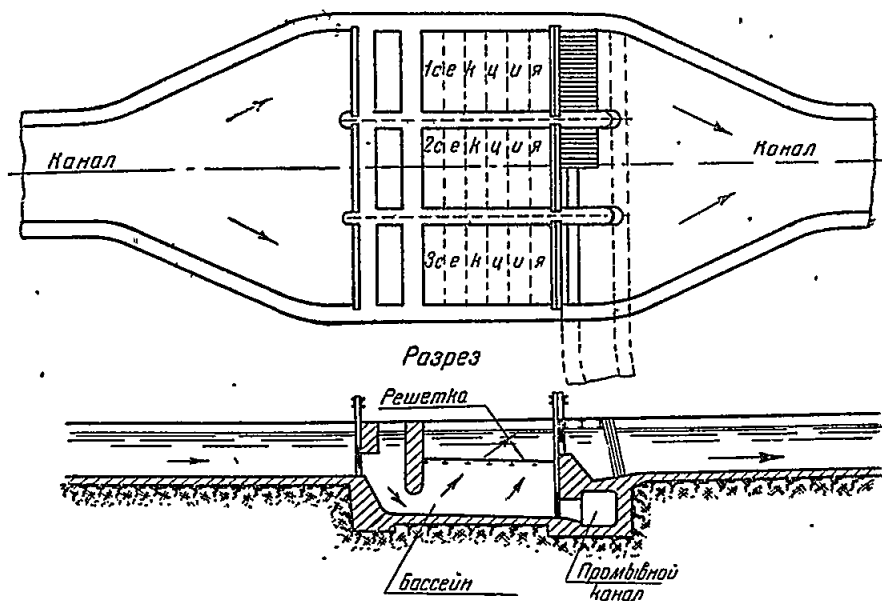


Рис. 62. Отстойник системы Кешлена (Г).

забральная стенка для приближения потока ко дну. Дно камер в связи с этим значительно углублено в начале относительно входного порога с тем, чтобы иметь возможность создания восходящего потока в отстойной камере, примыкающей непосредственно к забральной стенке. Отстойная камера перекрывается горизонтальной решёткой для выравнивания вертикальных скоростей по всему её объёму. Для отвода осветлённой воды в конце камер имеется водослив в торцевой стенке с регулировочными щитами или шандорами. В этой

же стенке для промывки наносов устроены в каждой камере донные отверстия, закрываемые щитами.

Схема отстойника допускает промывку наносов сильной струей из-под входного щита. Решётка очищается автоматическим обратным током при выключении камеры из работы: при этом подача воды для промыва её может производиться из канала через отводной водослив. Крупным недостатком этого отстойника являются повышенные

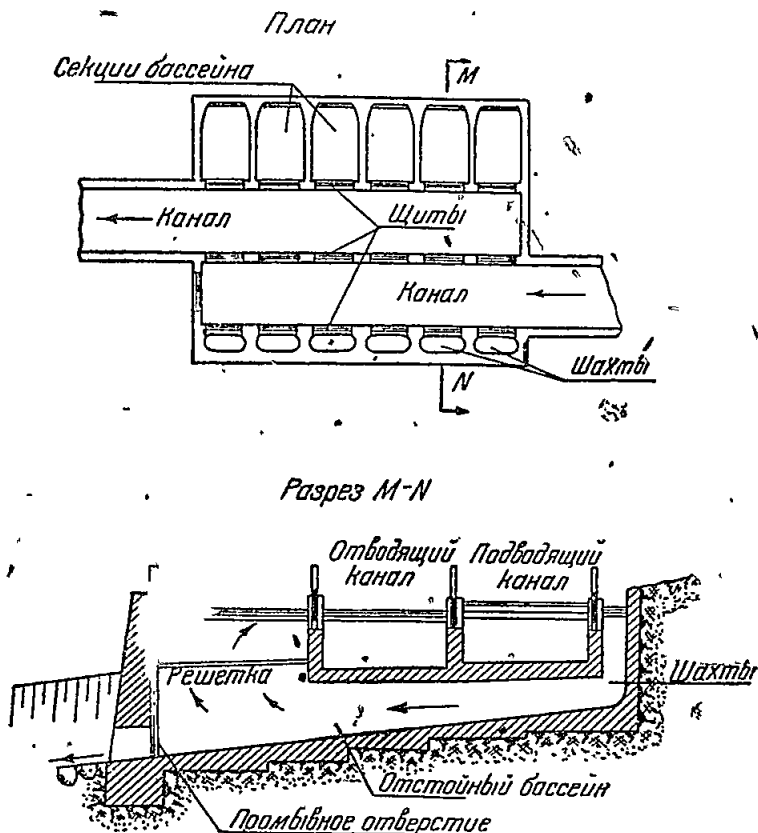


Рис. 63, Отстойник системы Кешлена (II).

входные скорости из-за установки забральной стенки, обуславливающие создание водоворота у поверхности, в начале камер охватывающего и часть решётки. Конструкция решётки не разработана. Наличие большой аванкамеры перед отстойником будет вызывать значительные отложения наносов в ней. Удаление же их из аванкамеры не предусмотрено.

Значительное улучшение система отстойника получает в другой компоновке его, представленной на рисунке 63, где подводящий и отводящий каналы расположены рядом над камерами бассейна.

Здесь поток также сначала опускается ко дну; затем на значительном протяжении под каналами он выравнивается и постепенно уменьшает скорость и затем уже поворачивает вверх. Отложения наносов здесь будут сдвинуты к промывному отверстию. Здесь уже нет аванкамеры перед входом.

2. Отстойник Бюхи (рис. 37) по общему устройству камеры не отличается от отстойника Кешлена. В этой системе имеются лишь следующие улучшающие работу отстойника усовершенствования. Входное донное отверстие увеличено в высоту до предела с тем, чтобы при входе в камеру иметь лишь защиту от плавающих тел. Эти входные скорости доводятся до минимально возможных. Второе забрало для пригнетания потока ко дну устранено. Вследствие этого и дно камеры в начале её не имеет резкого уступа, как это сделано в отстойнике Кешлена. Дно камер имеет вначале лишь несколько больший уклон для быстрого достижения необходимых скоростей течения. Нижняя часть камер имеет меньший уклон, но также в направлении течения. Для быстрого распределения скоростей по сечению камер непосредственно за входом устроены три ряда разбивательных решёток из газовых труб с расстоянием между ними, увеличивающимся к стенам камер. Трубы в рядах расставлены в шахматном порядке. Для увеличения поверхностных скоростей к концу камер и соответственного уменьшения их в нижних слоях, куда успеют переместиться взвешенные наносы, над выходным водосливом установлена наклонная решётка с небольшим углом к горизонту (рис. 53). Такое перераспределение скоростей способствует осажждению наносов. Просветы решётки увеличиваются от выходного водослива к началу камеры для ослабления восходящих токов возле отводного водослива. Для возможности регулирования просветов плавки решётки могут быть вращающимися вокруг своих осей (по типу жалюзи).

Положение отстойных камер здесь принято нормальным к направлению подводящего канала. Это позволило аванкамеру устроить постепенно сужающейся от первой к последней по течению камере с таким расчётом, чтобы скорость в ней оставалась постоянной и достаточно большой, чтобы не допускать отложений в ней взвешенных наносов. Приёмная отводная камера чистой воды устроена по тому же принципу (рис. 64).

Отстойник Бюхи имеется на гидроустановках Сутеро (рис. 37), Керстелен (рис. 64) и Клостер на реке Ландкарт (рис. 65). В установке Керстелен вода забирается через особое головное устройство с гравиеловкой и промывным каналом. Непосредственно к гравиеловке примыкает аванкамера отстойника. Камеры отстойника (всего 5) имеют ширину по 3,36 м и длину по 45 м. Одна из камер (нижняя) служит для зимнего периода работы станции, когда остальные камеры выключаются вследствие отсутствия наносов. Отстойник запроектирован на расход в 7 м³/сек. Следовательно, на 1 м³/сек. расхода приходится 73 м³ объёма бассейна. Здесь установкой решёток Бюхи удалось понизить скорость в нижней части камер под решётками, примерно, вдвое.

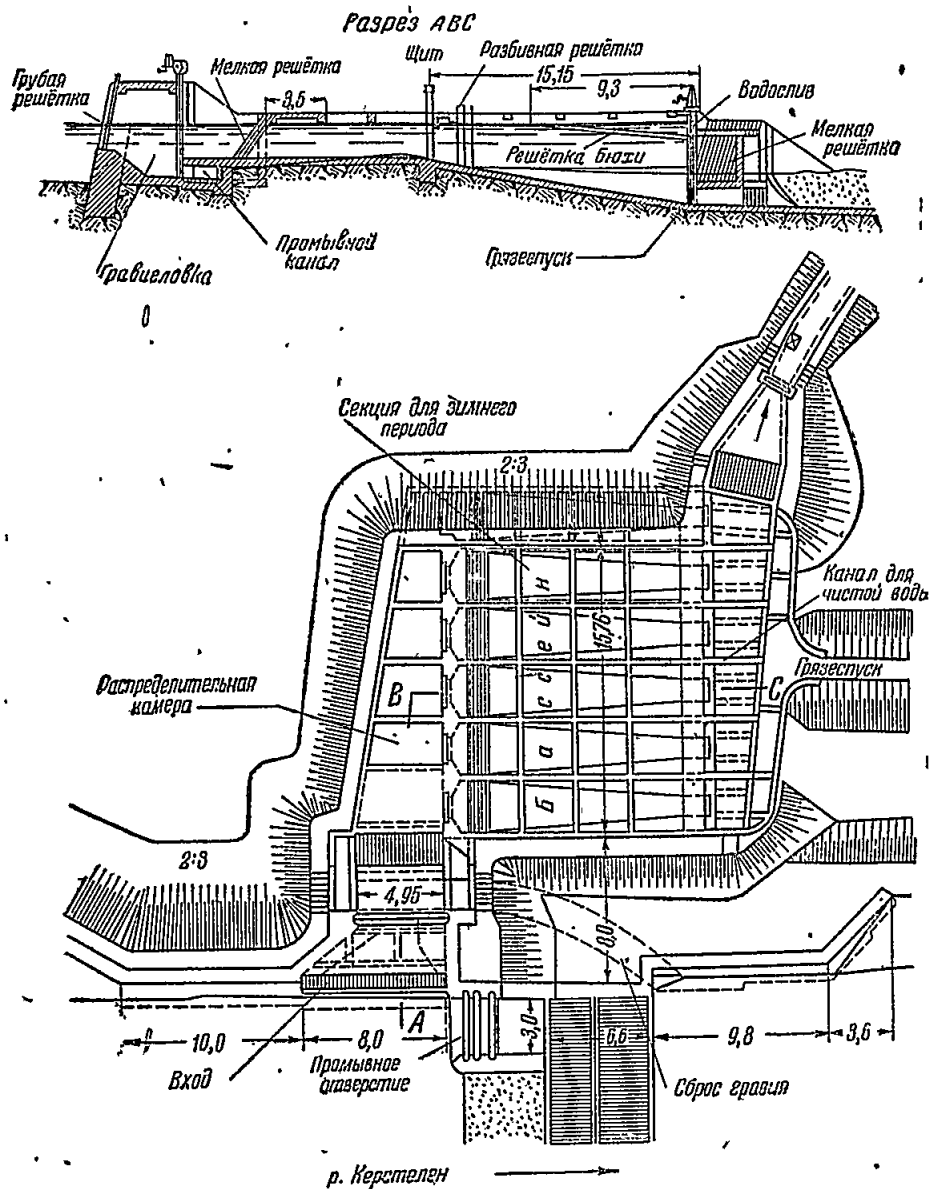


Рис. 64. Водозабор с отстойником Бюхи ГЭС Керстелен.

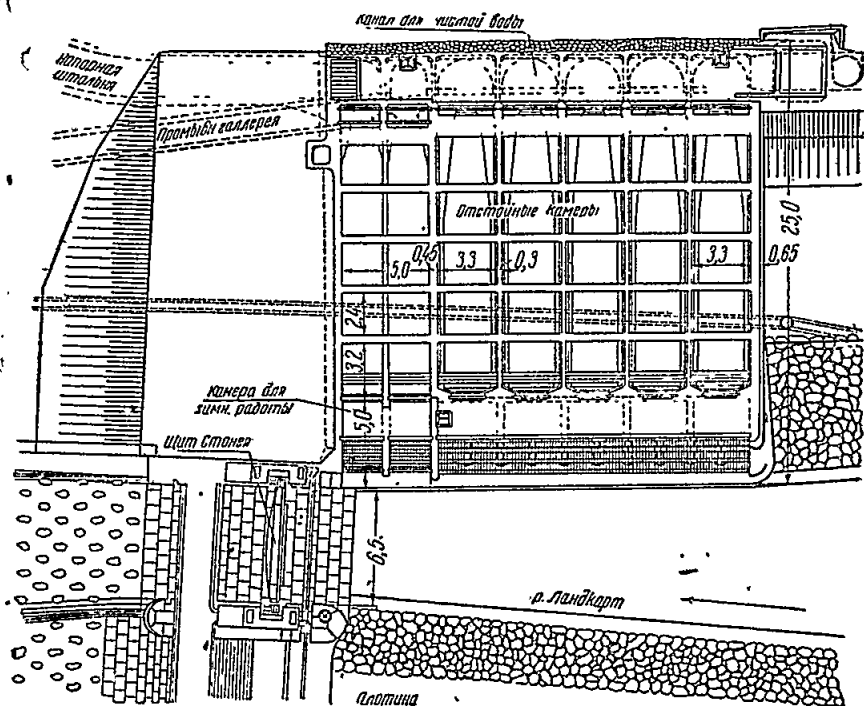


Рис. 65. Водозабор с отстойником Бюхи ГЭС Ландкарт.

Опытные исследования бассейна с песком состава, приведённого в таблице 1, по пробам, взятым из введённого и выделенного песка, дали следующий результат.

Таблица 1

Диаметр песчинок в мм	Пробы введённого песка		Пробы выделенного в бассейне песка	
	в г	в %	в г	в %
1,56—1,07	92,67	5,07	119,91	6,89
1,07—0,71	145,41	7,95	174,68	10,18
0,71—0,42	445,99	24,40	538,58	31,42
0,42—0,31	421,77	23,00	439,05	25,62
0,31—0,16	511,41	27,90	384,00	22,31
0,16	213,14	11,68	61,34	3,58

Как видим, состав осевшего песка изменялся в сторону увеличения содержания более крупных частиц. Процент осевших наносов по фракциям характеризуется следующей таблицей.

Т а б л и ц а 2

Диаметр песчинок в мм	Введенный песок в кг	Осажденный в бассейне песок	
		в кг	в %
1,56—1,07	33,7	33,2	98,5
1,07—0,71	52,8	48,3	91,9
0,71—0,42	162,0	148,9	91,8
0,42—0,31	153,2	121,3	79,2
0,31—0,16	185,7	106,2	57,2
0,16	77,3	17,0	22,0
Всего	664,7	474,9	71,3

Таким образом, коэффициент полезного действия отстойника по отношению ко всей массе песка составляет 71,3%. Если же отбросить песок диаметром меньше 0,31 мм, как мало вредный для механизмов, то общий процент выделенного вредного песка (к.п.д.) составит 87,5%.

В установке Клостера (рис. 67) бассейн, рассчитанный на расход 12 м³/сек. при скорости 0,16 м/сек., расположен непосредственно на берегу, и вода поступает прямо в камеры бассейна (5 камер). При входе устроен порог, возвышающийся на 4 м над дном промывного отверстия плотины.

*Для зимнего периода устроены ещё две специальные камеры, примыкающие непосредственно к плотине и имеющие порог при входе всего в 2 м для обеспечения пропуски необходимого расхода.

Дно отстойных камер имеет уклон в начале 0,19, в конце 0,04. Глубина воды в конце камер 4,5 м. Для обслуживания бассейна обычно достаточно одного человека и лишь в периоды сильного влечения наносов для среднего размера установок можно приглашать ещё одного помощника.

В летнее время для Альпы обычно достаточно одной-двух промывок каждой камеры в течение 24 часов. В зависимости от местных условий (при чрезмерно большом количестве наносов) автором системы отстойника рекомендуется производить непрерывную промывку, оставляя несколько приоткрытыми нижние щиты в конце камер. Однако следует иметь в виду, что при этом повышается расход воды в камерах, увеличивается скорость и ухудшаются условия осаждения песка. Одновременно увеличивается и захват воды в голове, что также является неблагоприятным фактором в отношении завлечения донных наносов. Промывка же наносов неполным расходом и при наполненных камерах не может обеспечить удаление наносов со всей длины камер.

3. В советской практике получили распространение многокамерные отстойники по типу Бюхи, но без наклонной решётки его системы на выходном водосливе, применение которой вообще встречает затруднения при наличии льда и колебания уровня в верхнем бьефе, а значит и в отстойнике. Не всегда в советской практике можно встретить также разбивательные (успокоительные) решётки в начале камер, хотя их роль весьма существенна при неблагоприятных условиях входа. Этих решёток в ряде случаев (отстойник Аджариспхальской гидростанции, рис. 128) удаётся избежать путём более тщательной разработки на моделях условий входа воды в камеры (см. описание Аджариспхальского отстойника). Но в ряде случаев отсутствие разбивательных решёток ничем не оправдывается, как, например, в отстойнике Варзобской гидростанции (рис. 110) (см. описание, часть II), где, несомненно, это и скажется на распределении скоростей в камерах.

Успокоительные решётки имеются в советских отстойниках, аналогичной системы, на гидроустановках на реке Чирчик (рис. 126), Баксанской (рис. 124), Сухумской (рис. 112). Отсутствие таких решёток в отстойнике Канакирской гидростанции (рис. 114) объясняется положением его на канале с лобовым подводом воды, что в значительной степени улучшает условия входа, хотя и не вполне гарантирует равномерное распределение скоростей в камерах.

Промывные отверстия преимущественно устраиваются в отводном водосливе. Лишь в отстойнике Варзобской гидростанции они устроены в боковых стенках.

Кроме того, характерной особенностью последних советских отстойников является применение в камерах продольных невысоких стенок для улучшения условий промывки и возможности промывки камеры по частям при её выключении из работы. Это позволяет значительно увеличить ширину камер и уменьшить их число. Такие стенки устроены в отстойниках Чирчикских (рис. 126), Варзобской (рис. 110) и Аджариспхальской (рис. 128) гидростанций.

Подробное описание условий работы и конструкций указанных отстойников приведено ниже.

4. Отстойник Сокерина (рис. 41) весьма существенно отличается от предыдущих промывными устройствами, обеспечивающими промывку наносов без выключения отстойника. Это обстоятельство позволяет отказаться от деления отстойника на камеры, производимого в целях рациональной промывки наносов. В этом случае деление на камеры может быть обусловлено лишь требованиями ремонта и авариями.

Промывные устройства этого отстойника были описаны выше.

5. Отстойник Сурова (рис. 54) с двухэтажными камерами, анализ которого был дан выше, при рассмотрении средств для усиления отложений наносов.

Отстойники гидроустановок Ливе (рис. 15), Хариузовской (рис. 35), Фентафон (рис. 45), Чишпис (рис. 60) и другие не являются типичными, а скорее случайными конструкциями, имеющими иногда ряд существенных недостатков и представляющими интерес только отдельными элементами своих устройств.

К таким же случайным конструкциям относится Саганлугский отстойник (рис. 66), предназначенный для очистки воды ($2,8 \text{ м}^3/\text{сек.}$), подаваемой на орошение земель Саганлугского совхоза (6 200 га). Вода в отстойник подаётся насосами из реки Куры. Из отстойника вода перекачивается также насосами.

С целью предохранения от быстрого износа этих вторых (более дорогих) насосов и был устроен отстойник, запроектированный на скорость в 6 см/сек. Вода к отстойнику подводится лотком, огибающим его поверху с трёх сторон и служащим одновременно для подачи воды во второй смежный лоток, являющийся промывным. Вода из лотка в отстойник подаётся с двух сторон сосредоточенными в начале отстойника выпусками.

Дно отстойника представляет ряд бетонных поперечных зубьев (через $0,60 \text{ м}$), поднимающихся также и по откосам бассейна до промывного лотка. Между зубьями получаются поперечные каналы глубиной в $0,50 \text{ м}$. По оси бассейна на дне устроен продольный жолоб шириной в $1,5 \text{ м}$ и глубиной в $0,70 \text{ м}$, служащий для отвода смываемых из поперечных каналов наносов. Промывку предполагалось производить при выключении бассейна путём выпуска воды в поперечные желоба из верхнего промывного лотка. Опыт эксплуатации показывает, что удалить наносы одной гидравлической промывкой не удаётся, приходится прибегать ещё к ручной чистке, для чего требуется 4—5 рабочих в течение 10 часов.

Подводящие и отводящие устройства оказались настолько нерациональными, что в отстойнике образуются мёртвые зоны и весьма неравномерное распределение скорости¹. Опыт эксплуатации этого отстойника показывает, насколько нецелесообразно иногда могут быть израсходованы средства, если новая конструкция не апробирована в лаборатории и спроектирована без достаточной эрудиции.

Непрерывно промываемые отстойники

1. Отстойник Дюфура (рис. 67) с продольными камерами, дно которых имеет одиночные откосы для концентрации наносов на узкой полосе по оси камер. На дне вдоль каждой камеры устроена донная промывная галлерей, перекрытая сверху решёткой со специальной формой спиц (см. выше — в промывных устройствах). Эта донная галлерей начинается открытым отверстием непосредственно за входным сооружением и оканчивается в потерне отводного водослива, являющейся промывной галлереей, принимающей промывные расходы из отдельных камер отстойника. Таким образом, наносы в донную галлерей поступают как через входное отверстие в её начале, так и через просветы перекрывающей её решётки по всей длине отстойника.

Поскольку расход воды в донной галлерее возрастает к концу, то и сечение её должно увеличиваться для сохранения скорости постоянной. Увеличение сечения целесообразней делать за счёт уклона её дна. Просветы донной решётки должны уменьшаться к концу галлерей.

¹ См. технический отчёт аспиранта Салахова за 1938 г., архив ВНИИГиМ.

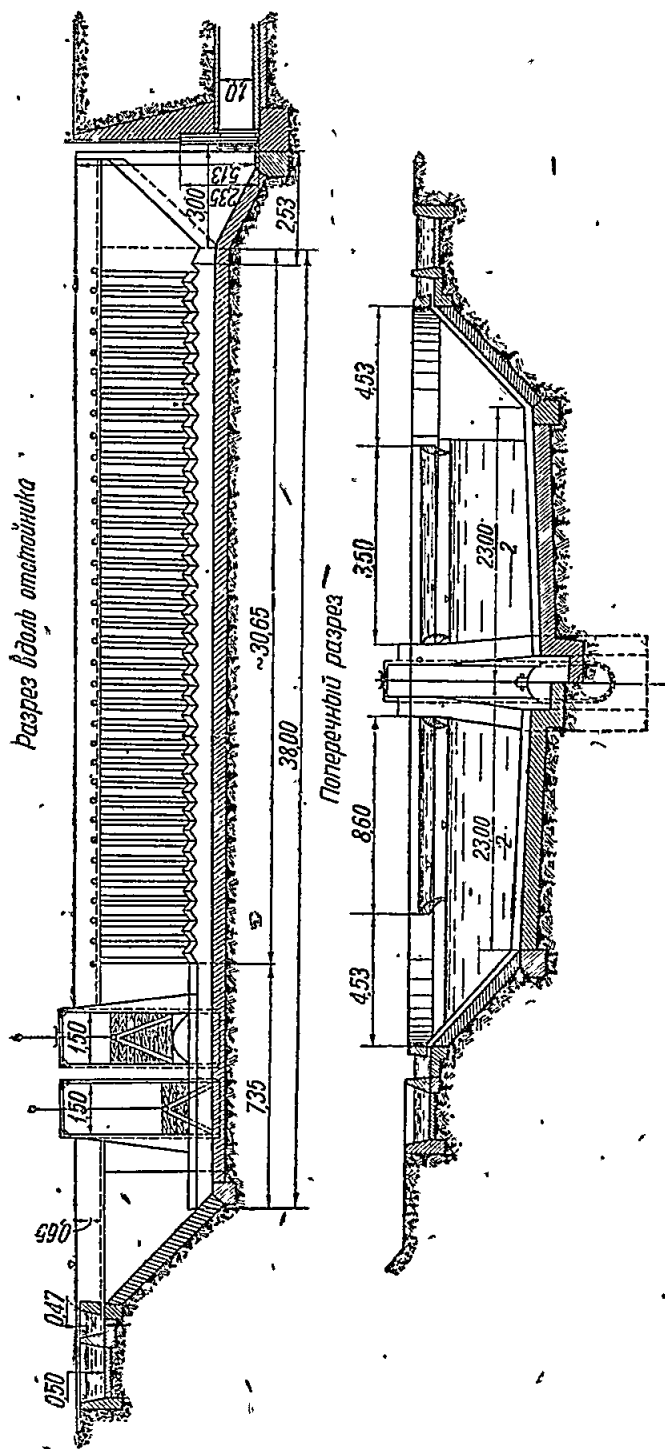


Рис. 66. Саянлугский отстойник.

Это нужно для сохранения постоянства удельного расхода через решётку, поскольку в галлее имеются потери напора и действующий напор для пропуска воды через просветы решётки в конце её будет больше, чем в начале. Уменьшение просветов решётки к концу приходится делать также потому, что количество осаждающихся наносов в конце камер значительно меньше, а значит и удельный промывной расход должен быть меньше.

Так как обычно входной порог значительно выше дна отстойных камер, то имеется сопрягающий участок перед рабочей частью камеры, где могут отлагаться крупные наносы (галька). Для устранения

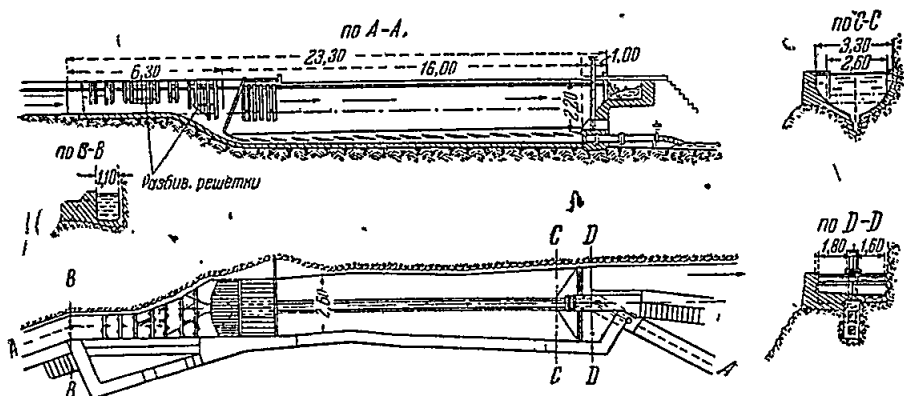


Рис. 67. Отстойник системы Дюфура ГЭС на реке Финделен.

этого, а также для гашения входных скоростей на переходном участке, устанавливаются несколько рядов (3—7) разбивательных (из брусков или уголков) решёток, не достигающих до дна, чем достигается увеличение донных скоростей. Смываемые с сопрягающего участка наносы попадают прямо во входное отверстие донной галереи. В начале рабочей части камеры непосредственно над входным отверстием донной галереи устанавливается обычная мелкая металлическая очистная решётка для задержки мусора, а также гальки, которые могут забить донную решётку. С этой целью просветы в мелкой очистной решётке делаются несколько меньше просветов донной решётки. Непосредственно за очистной решёткой в начале камеры иногда устанавливаются мелкие разбивательные решётки, для выравнивания скоростей по сечению; несколько не достигающие до дна.

В конце каждой камеры, в торцовой стенке, устраивается водослив для отвода чистой воды с регулируемой высотой гребня. У дна бассейна, над донной решёткой, в той же торцовой стенке имеется донное отверстие со щитом; служащее для смыва наносов с донной решётки, отлагающихся на ней за период бездействия донной промывной галереи. При наличии этого второго донного отверстия отстойник может быть и периодически промываемым.

Отстойник Дюфура получил довольно широкое распространение за границей. Результаты применения его в ряде гидроустановок

вполне удовлетворительны. Так, в гидроустановке Цермат (на реке Финделен), забирающей расход $1 \text{ м}^3/\text{сек.}$, имеющей мощность в 1 000 л.с. при напоре в 100 м, вначале были устроены два обычных отстойника для борьбы с наносами. Речка Финделен несёт наносы чрезвычайно разнообразные — от ила до гравия в 50 мм. Чистка этих бассейнов производилась два раза в сутки, и это оказалось недостаточным — были перебои в работе гидростанции.

Несмотря на принимаемые меры, наносы в большом количестве проходили через турбины и сильно истирали их, особенно лопатки

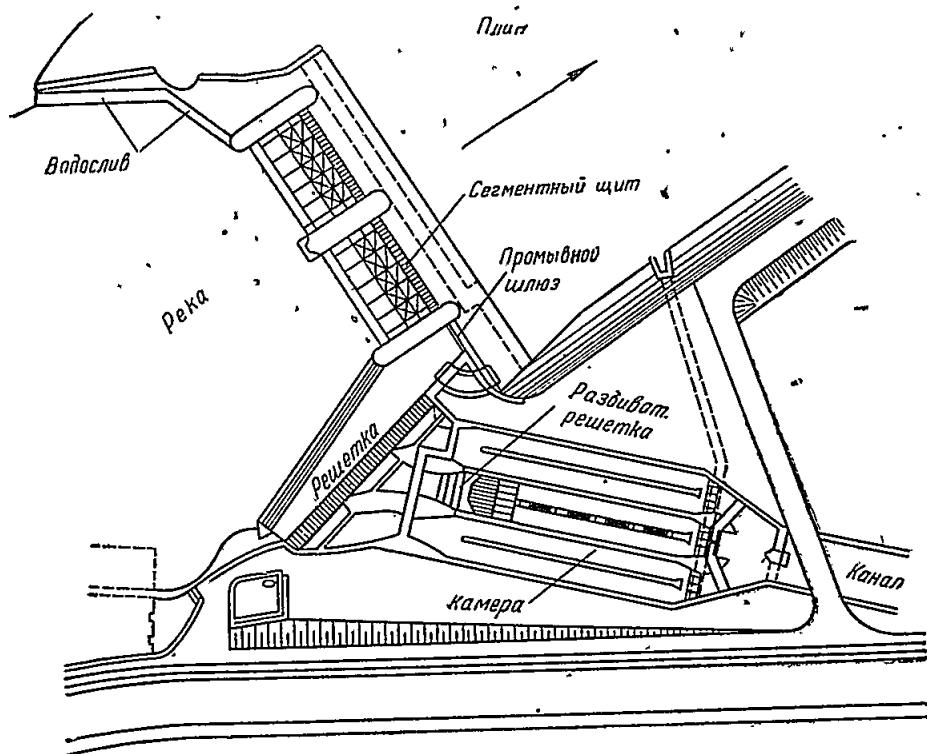


Рис. 68. Отстойник системы Дюфура ГЭС Сепильен, совмещённый с головным регулятором.

направляющего аппарата, которые вследствие этого ежегодно сменялись. После устройства отстойника Дюфура гидростанция работала без перебоев, и износ турбин сократился до минимума. Отстойник Дюфура был в состоянии промыть в сутки до 100 м^3 наносов. В гидростанции Аккерзанд, оборудованной различными приспособлениями для борьбы с наносами как в голове канала, так и по середине его и в конце, через турбины проходил песок и гравий до 12 мм в диаметре. Износ сопел колёс Пельтона был настолько велик, что ежегодно они сменялись до трёх раз. Самые колёса также требовали ежегодной их смены.

После установки отстойника Дюфура (в 1919 г.) в турбины попадали наносы не крупнее 0,4 мм, и смена частей механизмов сократилась в 3 раза, а отдача турбин повысилась на 23—28%. Отстойник Дюфура в этой гидростанции было промыто в течение лета 1919 г. до 4 000 м³ наносов.

В гидростанции Сешильен на реке Романш (рис. 68) установлен трёхкамерный отстойник Дюфура в голове деривационного канала. Вода здесь забирается со значительной скоростью и для быстрого выравнивания скоростей по сечению камер в начале их установлены разбивательные решётки из металлических уголков. Стержни в решётке поставлены через 30 см, а расстояние между рядами решёток 1 м. Фронт водоприёмника здесь сильно развит. Это обуславливается ещё и тем, что угол отвода канала принят острым — около 45°.

Отстойник гидростанции Янакото (на реке Рио Римака, Япония, рис. 69) установлен вне зависимости от водоприёмника. Но водоприёмник имеет число отверстий, соответствующее числу камер. Для устранения отложений наносов перед камерами вода из отверстий подводится к камерам узкими лотками.

Однокамерный отстойник гидростанции Давос Клостер (рис. 70) рассчитан на расход в 1,6 м³/сек.

В гидростанции Кардаун¹ отстойник рассчитан на расход 90 м³/сек. и установлен в голове деривационного канала (рис. 71 а, б).

Входное сооружение расположено нормально к плотине и имеет 15 отверстий — по 3 на каждую камеру отстойника. Входная скорость 1,6 м/сек. Длина камер отстойника 36 м, ширина 11 м и наибольшая глубина 5,4 м. Размеры отстойника в данной установке отчасти были вынужденными, так как решение устроить отстойник Дюфура было принято, когда водоприёмное сооружение было уже готово и значительно были продвинуты работы по устройству регулирующего бассейна перед штольней. Таким образом, отстойник допускал оседание только довольно крупных частиц — до 1 мм. Более мелкие наносы должны оседать в регулирующем бассейне.

На случай чистки этого бассейна, что требует его опорожнения, снабжение штольни водой ведётся через обводный канал, питаемый из отстойника. С этой целью в конце камер имеются в торцовом отводном водосливе дополнительные отверстия на достаточной высоте над дном, подающие воду в специальную поперечную галлерею (рядом с промывной), откуда она и поступает в обводной канал.

Опыт эксплуатации этого отстойника показал следующее.

Разбивательные решётки при входе в камеры действовали хорошо.

Непрерывный промыв был проверен в течение дня (с утра до вечера) при двух открытиях дна донной галлереи — на 10 см и 20 см. В обоих случаях накоплений наносов на донной решётке не происходило, хотя в камеры проникали камни весом до 1 кг.

В это время расход в реке превосходил расход гидростанции на 150 м³/сек. Для такого состояния потока в отношении наносов, следо-

¹ Приводится по И. В. Егизарову (37).

зательно, открытие в 40 см оказалось достаточным. Промывной расход в это время составлял 3% от полезного расхода гидростанции. Так как в реке возможны быстро наступающие паводки, то для эксплуатации принято открытие промывных щитов в пределах 20—30 см.

Была произведена проверка работы отстойника также и на периодический промыв в течение, примерно, того же времени. При закрытых промывных щитах за это время отложился слой наносов свыше 1 м. После открытия промывного щита наносы были промыты в течение 15 минут. Затем в одной из камер в течение некоторого времени был накоплен слой наносов в несколько метров. Промыв этих наносов в течение 30 минут был произведён путём прикрытия входных щитов и открытия обоих промывных щитов: в донной галлерее и над донной решёткой. Пробы промывной воды показали содержание в ней частиц от крупного гравия до мельчайших.

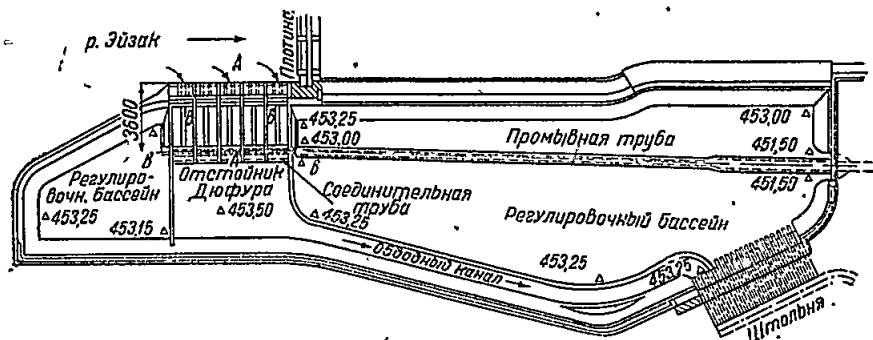


Рис. 71а. Водозабор с отстойником Дюфура ГЭС Кардаун (план).

Была проверена также работа отстойных камер. Пробы осветлённой в отстойнике воды показали преимущественное содержание частиц $< 0,5$ мм (98,5—99%), частиц размером 0,5—1,0 мм—не свыше 1% и частиц размером 1—2 мм не свыше 0,5%. Частиц крупнее 2 мм не обнаружено.

Следует отметить, что испытания, к сожалению, были проведены при небольшом сравнительно содержании наносов в реке.

Положительными сторонами отстойника Дюфура являются:

а) возможность сохранения постоянства живого сечения камер, особенно в наиболее напряжённый период работы (паводок), когда непрерывная промывка будет обеспечена расходом воды; этим устраняется запасной объём для наносов, необходимый в периодически промываемых отстойниках, и достигается значительное удешевление отстойника;

б) возможность промывки довольно крупных наносов (галка), что позволяет организовать в одном отстойнике борьбу с крупными (галечными) и мелкими (песчаными) наносами без устройства специальной гравиеловки;

в) непрерывный ток воды через донную решётку, улучшающий осаднение наносов и предотвращающий взмывание их возле отвод-

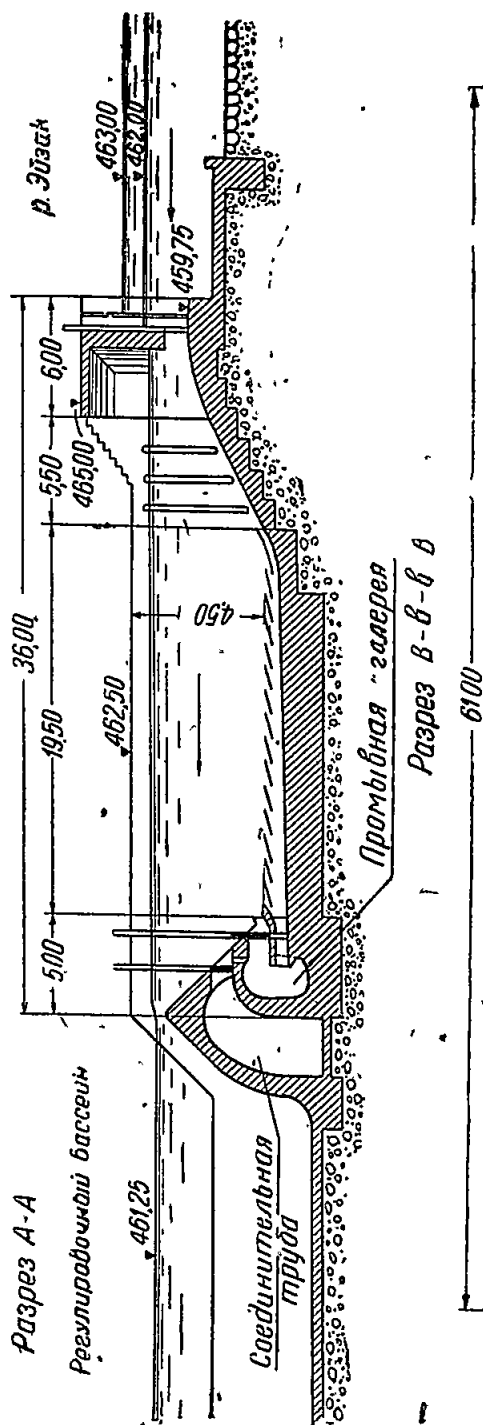


Рис. 716. Водозабор с отстойником Дюфура ГЭС Кардаун (разрезы).

ного водослива. Таким образом, при расчёте длины камер можно вводить не полную наибольшую глубину воды в них, а несколько меньшую, что даёт сокращение длины.

Недостатками отстойника являются следующие:

а) Большая глубина положения донных промывных отверстий по сравнению с другими системами.

б) Наличие откосов на дне камер также увеличивает наибольшую их глубину, по сравнению с камерами прямоугольного сечения.

Так как для промывки наносов требуется неподтопление донных отверстий со стороны нижнего бьефа, то при применении отстойников Дюфура необходимо или увеличивать высоту плотины, или, при достаточно большом уклоне реки, устраивать более длинный промывной канал, выводя его в нижний бьеф на уровень; не создающий подтопления его в паводок, или перенести отстойник на деривацию в удобное для сброса в реку промывного расхода воды место, или, наконец,



Рис. 72. Отстойник системы Д. Я. Соколова с двусторонним промывом,

уменьшить ширину камер, поскольку от неё зависит глубина положения промывной галереи. А это последнее обстоятельство приведёт к увеличению числа камер.

Устранить многокамерность при больших забираемых расходах воды можно путём устройства камер с двумя—тремя (и больше) донными галереями, разделёнными двускатным пространством (рис. 44). Это, однако, повлечёт за собой некоторое удорожание промывных устройств и увеличение промывного расхода.

в) С удлинением камер приходится увеличивать промывной расход во избежание завала верхней части донной решётки. Это обстоятельство ограничивает пределы применения отстойника в отношении крупности отлагаемых в нём наносов, поскольку с уменьшением выделяемых в отстойнике фракций сильно возрастает его длина. Хотя не лишено возможности устранить этот недостаток путём разделения промывной донной галереи по длине на секции, промываемые самостоятельно.

г) Неприменимость отстойника при весьма малых расходах воды — в условиях промышленного водоснабжения — из-за сложности конструирования донной решётки: просветы получаются столь малыми, что есть опасность лёгкого забивания их мелким мусором (листвой и пр.), что может повлечь в дальнейшем к частичной забивке наносами донной галереи.

2. Отстойник Д. Я. Соколова (рис. 43) представляет собой продольную камеру, дно которой имеет одиночные откосы для концентрации наносов на узкой полосе дна. Промывные устройства в виде отдельных шахт с одной стороны камеры были описаны выше. Для уширения камер можно применять и двусторонний промыв с двускатным пространством на дне по оси камеры (рис. 72).

Настоящий тип отстойника может быть также и многокамерным. Конструкция отстойника в этом случае была разработана в дипломном проекте студентом Ардониным и представлена на рисунках 73 а, б.

Преимуществами данного отстойника являются:

- а) меньшая глубина за счёт устранения донной галереи;
- б) независимость глубины камер от уровня в нижнем бьефе, высота плотины здесь также не влияет на условия промывки или на глубину камер; достаточно иметь в пародок небольшую разность уровней верхнего и нижнего бьефов (порядка 0,2—0,5 м) для обеспечения перепада, необходимого при промывке наносов через шахты;
- в) возможность регулирования промывного расхода отдельных шахт, что позволяет согласовывать его с количеством выпадающих наносов в зоне действия шахт. При недостатке воды промыв может вестись по частям. Шахты в конце отстойника могут действовать вообще периодически, поскольку там наносов отлагается значительно меньше, чем в начале отстойника;
- г) возможность устройства многокамерного отстойника;
- д) возможность устройства двустороннего промыва для уширения камер и уменьшения числа их;
- е) возможность применения отстойника в соединении с напорным бассейном, где для промыва наносов может быть использована сбросная вода; это устранил необходимость специального бокового водослива;
- ж) применимость отстойника при весьма малых расходах воды (промышленное водоснабжение).

На рисунке 74 представлен проект отстойника данной системы на расход $0,75 \text{ м}^3/\text{сек.}$ при промывном расходе, равном $1 \text{ м}^3/\text{сек.}$ при скорости течения в нём до 40 мм/сек.^1

Отстойник запроектирован двукамерный с двусторонним промывом каждой камеры. В качестве шахт применены трубы диаметром в 125 мм, заложенные в откосах и имеющие задвижки на выходных концах. Таким образом, представляется полная возможность регулировать промывку камер по длине, в зависимости от количества поступающих наносов. Обычная система отстойника Дюфура оказалась в данных условиях неприменимой.

Следует отметить, что крупные наносы (галка, гравий) потребуют всё же значительного увеличения промывных скоростей и перепада уровней воды. Поэтому данный отстойник следует предохранять от попадания в него таких наносов путём устройства донных промывных отверстий во входном пороге при расположении отстойника в начале деривации.

¹ Проект составлен инж. Ксенофонтовым под руководством автора для Гипрохим.

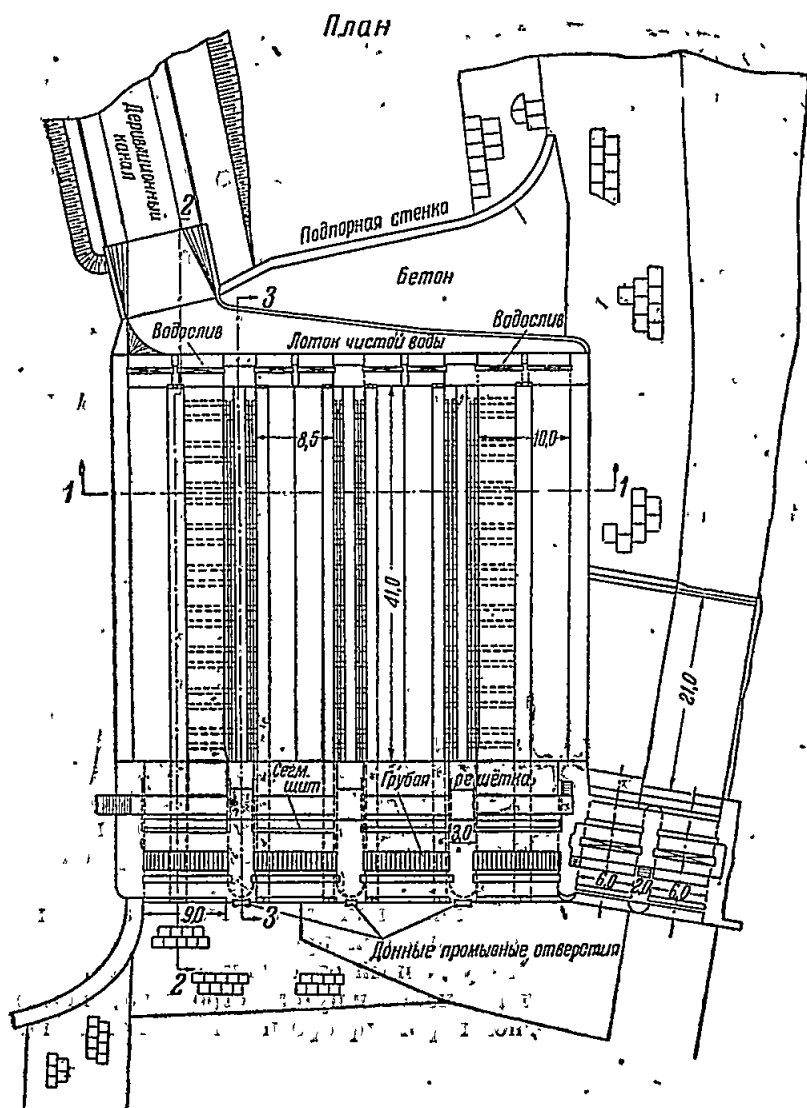
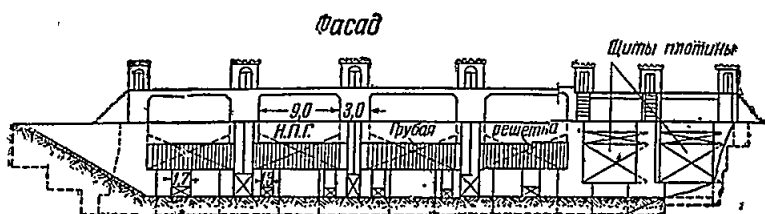


Рис. 73а. Многокамерный отстойник системы Д. Я. Соколова (фасад и план):

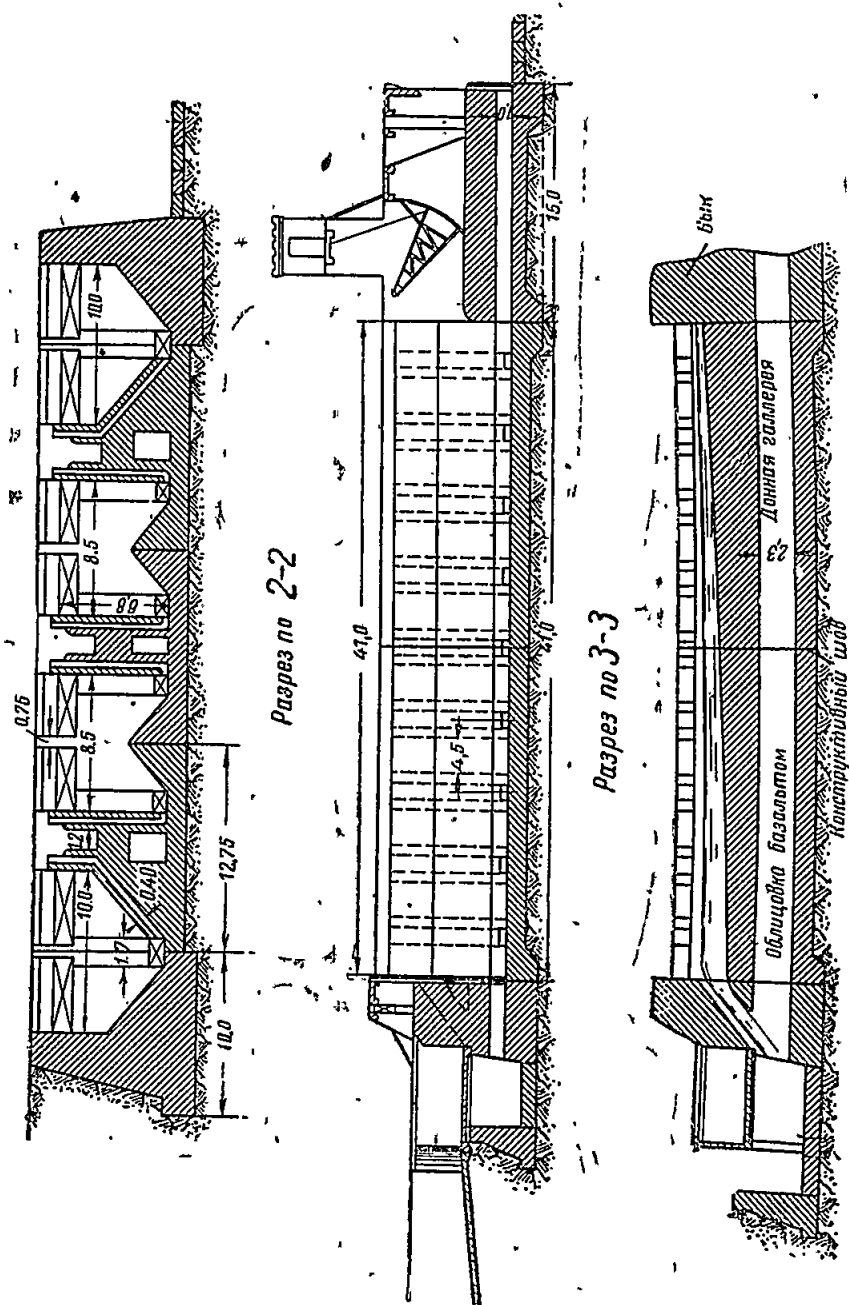


Рис. 736. Многокамерный отстойник системы Д. Я. Соколова (разрезы).

1. Отстойники с экскаваторной очисткой наносов: а) с пловучими экскаваторами и землесосами, транспортирующими гидромассу по трубам; это преимущественно однокамерные отстойники в земляных руслах при бесплотинном водозаборе, имеющие значительную длину (до нескольких километров); сюда же могут быть отнесены и ковши, применяемые в бытовом и промышленном водоснабжении; ковши имеют своим назначением борьбу с наносами, и с шугой; иногда эта цель превалирует перед наносной проблемой;

б) с крановыми экскаваторами и землесосами (отстойники Брильян и Лу) с гидравлическим или железнодорожным транспортом наносов. Сюда же могут быть отнесены и волоотстойники, применяемые на тепловых электростанциях с пылевидным топливом.

В отстойниках с экскаваторной очисткой приходится иметь дело со значительным количеством наносов в течение всего периода действия отстойников. Поэтому здесь весьма важным вопросом является транспорт наносов и организация отвалов.

2. Продольные бетонные (каменные) отстойники со скребковой тележкой (рис. 28). Обычно они делаются многокамерными. Применяются преимущественно в канализации.

3. Продольные многокамерные отстойники, с канатными скреперами и насосом для откачки гидромассы, применяемые в торфяных предприятиях при гидравлическом способе разработки торфа. Ввиду высокого стояния грунтовых вод предусматривается обычно крепление деревом ложа камер. При илинистых грунтах и низком стоянии уровня грунтовых вод креплений можно не делать.

Скорости в них принимаются 4—6 мм/сек., поскольку приходится иметь дело с наносами очень малого удельного веса, близкого к 1. В настоящее время ещё разрабатывается наиболее рациональный тип отстойника для торфопредприятий.

4. Круглые вертикальные отстойники с откачкой воды из центрального углубления камер:

а) с подачей воды к центру (рис. 32);

б) с кольцевыми перегородками при подаче воды у стенки камер (рис. 33).

5. Круглые радиальные отстойники с промывкой наносов через донное отверстие в центре камеры: со спиралевидными направляющими для концентрации наносов (рис. 48); со скребками Дорра (рис. 49, а, б).

Поскольку типы отстойников 2, 3, 4 и 5 не имеют пока применения в ирригации и в утилизации водной энергии, не будем их рассматривать детально.

6. Отстойник Всеамериканского канала. Ввиду важности для нас этой системы отстойника, дадим более детальное изложение всей проблемы борьбы с наносами.

Главный канал, питающий каналы Калифорнии, продельывает петлю по территории Мексики на протяжении 64 км и ставит фермеров в известную зависимость от неё. Кроме того, изменчивость реки Колорадо и значительное количество влекомых ею наносов требовали

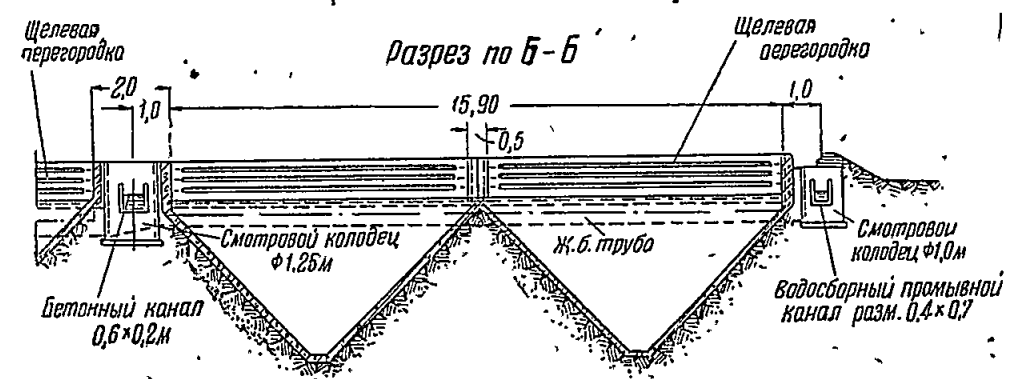
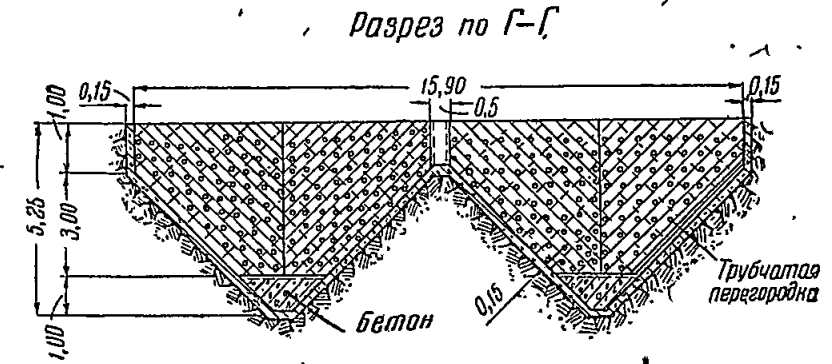
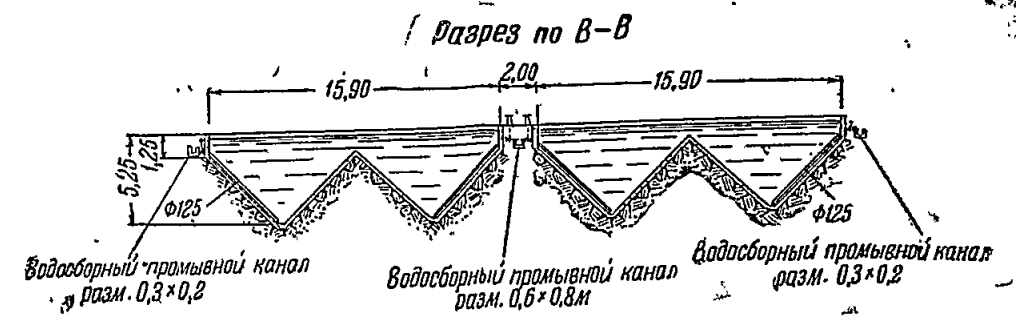


Рис. 74. Проект отстойника системы Д. Я. Соколова для Химкомбината.

значительных средств на борьбу с этими явлениями. Поскольку в голове старого канала не имелось никаких мер по борьбе с наносами, система сильно заносилась, и большое количество наносов выносилось на поля, нанося вред фермерам. Стоимость очистки от наносов каналов и распределителей, находящихся в ведении ирригационного управления долины Империял, достигает ежегодно 1 млн. долларов. В связи с этим государственный декрет 1928 г. разрешил постройку на реке Колорадо плотины Болдер для её регулирования и Всеамериканского канала для долин Империял и Кочелла, чтобы включить их во всеамериканскую водную систему.

С этой последней целью на нижнем течении реки Колорадо возведена плотина Империял на 32 км выше Юмы и на 7 км выше плотины Лагуна.

Проблема наносов

Водохранилища, образованные плотинами Болдер и Паркер, расположенными выше по течению плотины Империял соответственно на 483 и 241 км, лишь незначительно снижают содержание наносов крупнее 0,05 мм в реке у головных сооружений Всеамериканского канала. Исследования по реке Колорадо, проведённые ниже плотины Болдер после её возведения, показывают, что осветлённая в Болдеровском водохранилище вода вновь насыщается наносами размеров, встречающихся в ложе реки. Подсчёты показывают, что в ложе реки и в подверженных размыву берегах имеется такое количество размываемого грунта, которого хватит для насыщения потока реки на протяжении ряда десятилетий.

Водохранилище, образованное плотиной Паркер, имеет достаточную ёмкость, чтобы вмещать все наносы, которые в него будут поступать в течение многих лет. Но водохранилище при плотине Империял (высотой около 11,9 м над понуром) незначительно, и оно должно скоро заилиться. Тогда наносы начнут поступать в большом количестве в канал. Полагают, что количество наносов, попадающих во Всеамериканский канал, увеличится к известному времени до максимума, а затем будет медленно снижаться, по мере стабилизации реки выше плотины. Плотина Империял предназначается для отвода воды во Всеамериканский канал до 429 м³/сек. (на Калифорнийской стороне) и до 56 м³/сек. в канал Джилла (на Аризонской стороне).

Но в первую очередь во Всеамериканский канал будет забираться 340 м³/сек., что создаёт уменьшение против нормальной (1;14 м/сек.) скорости в нём и усилит заиление канала, если не устраивать отстойного бассейна в голове его.

При расходе в 340 м³/сек. общее количество поступающих в отвод наносов составляет 60 000 т (сухого вещества) в сутки (около 0,2% по весу) при максимуме до 90 000 т, что составит 0,3% по весу. Частицы меньше 0,05 мм, в основном, будут выноситься на поля.

Количество этих частиц будет составлять от 12 000 до 20 000 т в сутки, что даст содержание наносов в потоке около 0,04—0,06% по весу.

Таким образом, задача борьбы с наносами при водозаборе во Всеамериканский канал сводится к задержанию в отстойнике и

по следующему смыслу их в нижний бьеф от 48 000 до 70 000 т наносов ежедневно, что составит до 80% от полного количества наносов в потоке.

Для транспортирования этих наносов предполагается сбрасывать через промывной шлюз в плотине до 170 м³/сек., что, согласно подсчёту, будет достаточным. Полагают, что таким сбросным расходом можно будет располагать ещё в течение многих лет.

Мероприятия по борьбе с наносами

Для задержания и последующего удаления столь большого количества наносов довольно мелких фракций было осуществлено водозаборное сооружение (рис. 75). Это сооружение состоит из головного регулятора, подводящих к отстойнику каналов, отстойного бассейна с механизмами по очистке его и промывными устройствами, приёмной камерой для чистой воды и обводным каналом для подачи воды в магистральный канал помимо отстойника. Кроме того, к мероприятиям по борьбе с наносами во Всеамериканском канале следует отнести и сбросное сооружение плотины, примыкающее к регулятору и являющееся промывным шлюзом для смыва наносов, сбрасываемых из отстойника.

Отстойный бассейн (рис. 75) состоит из шести камер размером в плане 82 × 234 м, расположенных под углом 60° к подводящим каналам, что позволяет вставить в них скребковые вращающиеся механизмы с минимальными промежутками. Протекание воды идёт поперёк камер. Каждая камера рассчитана на пропуск 56,5 м³/сек., а весь отстойник — на пропуск 340 м³/сек. Для пропуска расхода второй очереди (429 м³/сек.) предусмотрена возможность пристройки дополнительных отстойных камер.

Средняя глубина воды в камерах 3,8 м. Для обеспечения выпадения 80% наносов крупностью до 0,05 мм принята скорость течения в камерах 6,7 см/сек.

Подсчёт эффективности действия отстойника был произведён по формуле, полученной Бюро мелиорации на основании исследований Газена.

Распределение отложений наносов в отстойнике, установленное по этой формуле, приведено на рисунке 76 (нижний).

На основании опытных исследований был установлен состав наносных отложений в камерах на различных расстояниях от впуска воды в них, представленный на рисунке 76 (верхний). Эти данные характеризуют значительную неравномерность слоя отложений и состав наносов по длине потока, т. е. значительно большая интенсивность отложений и более крупные наносы вначале, что определяет необходимость применения и разных по мощности скребковых механизмов в разных частях камер.

Подвод и отвод воды из камер производятся следующим образом.

Каждая пара камер питается одним общим распределительным каналом, расположенным между ними и имеющим сечение, уменьшающееся до нуля к низовому концу его, пропорционально умень-

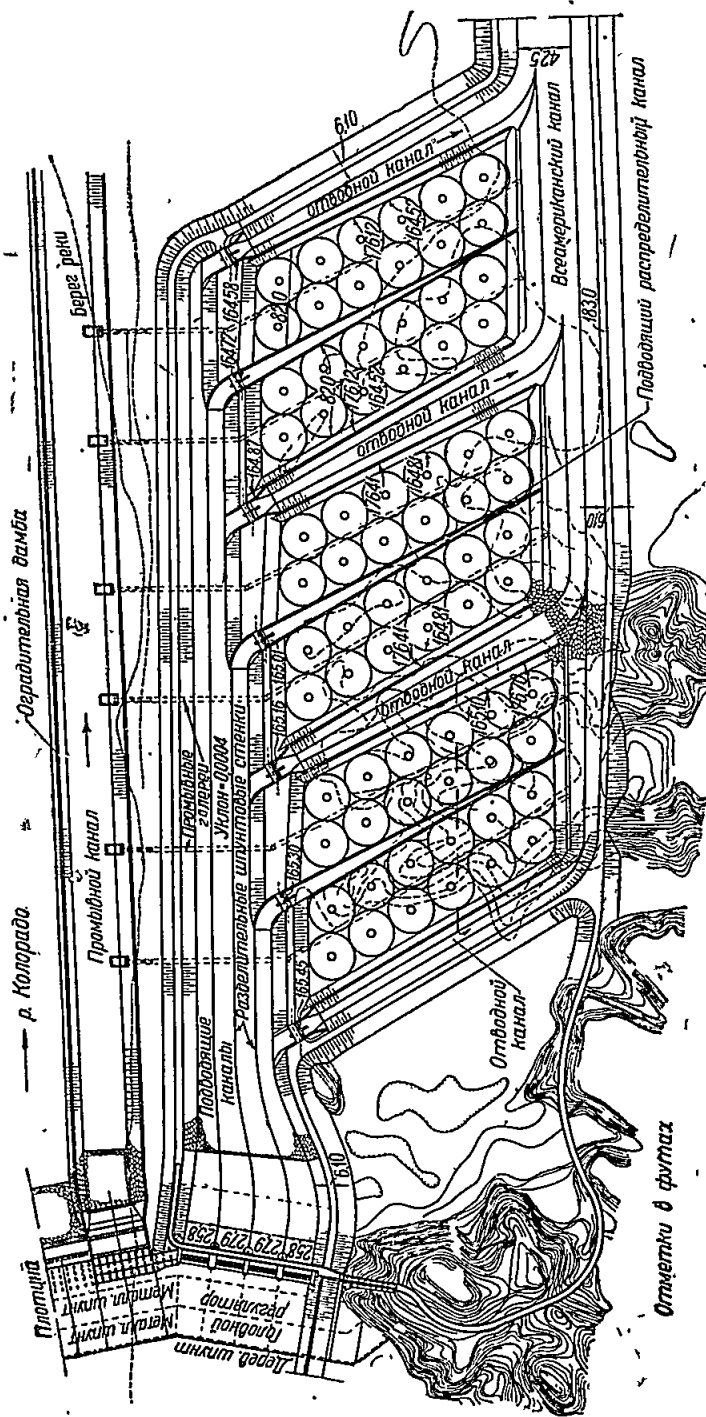


Рис. 75. Водозаборный увет Всеамериканского канала с шестикамерным отстойником (план).

шению расхода воды в нём (рис. 77), для сохранения скорости постоянной и равной, примерно, 1,20 м/сек.

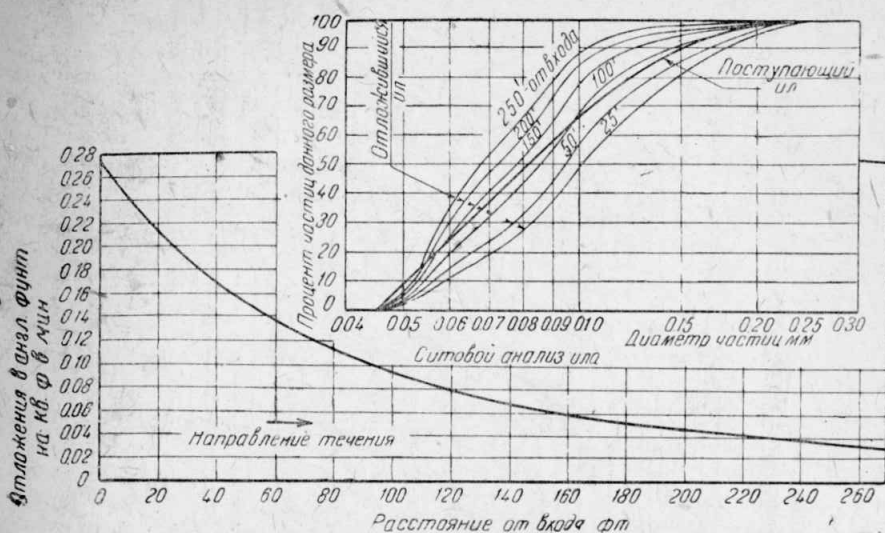


Рис. 76. Состав наносов и кривая распределения их в отстойнике.

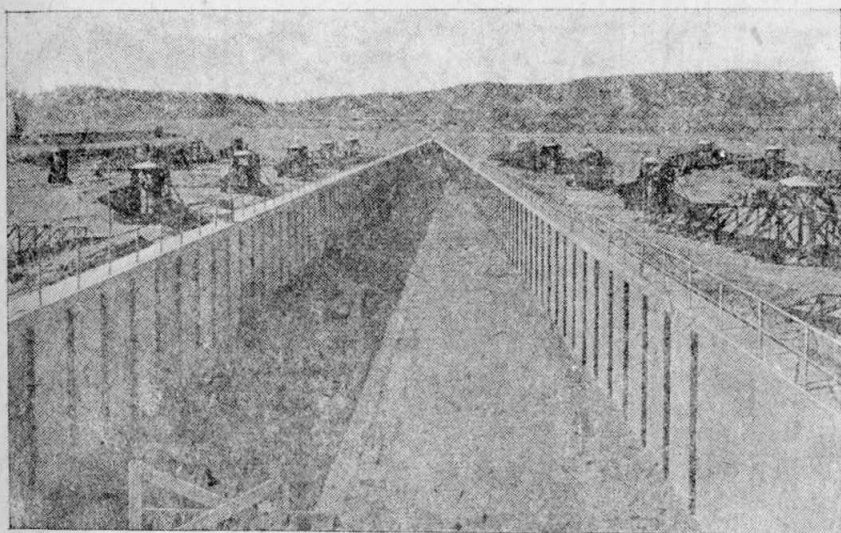


Рис. 77. Распределительный подводящий канал отстойника Всеамериканского канала.

Впуск воды в камеры из этого канала производится через щели в его бортах, устроенные на расстоянии 2,13 м друг от друга.

Форма щелей в плане была разработана на модели и обеспечивает восстановление кинетической энергии потока (путём снижения скорости выхода) и соответствующее направление его в камерах. Вследствие разных углов поворота потока при выходе в правую и левую камеры форма щелей получилась разная (рис. 78). Отсекающие поток острые рёбра щелей обделаны чугуном. Для возможности включения камер в начале распределительных каналов устроены двупролётные сооружения с сегментными щитами (рис. 75).

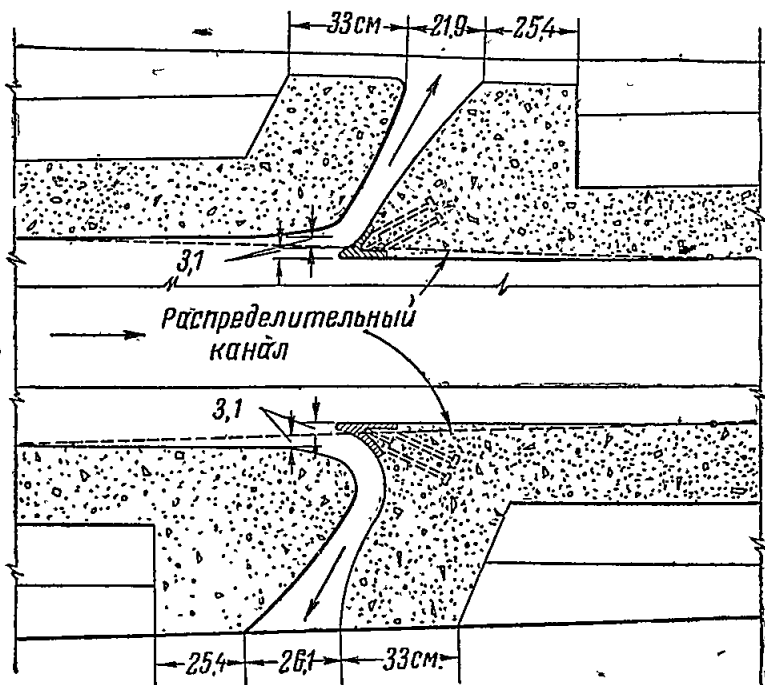


Рис. 78. Форма выпускных щелевых отверстий распределительного канала.

Канал осуществлён в виде железобетонного лотка прямоугольного сечения шириной в начале 13,6 м, с бортами высотой 4,10 м. Такие лотки покоятся на специально подготовленной насыпи (рис. 79).

Для отвода осветлённой воды служат отводные каналы, расположенные также между двумя камерами (рис. 75), из которых вода переливается через борта этих каналов, устроенные в виде водосливов (рис. 80а,б). Отводные каналы образованы двумя земляными дамбами, покрытыми на гребне бетоном, а двойные откосы их укреплены мощением насухо. Для возможности регулировать высоту гребня водослива в процессе эксплуатации, с целью обеспечить равномерность расхода по длине его, на гребне втоплен в бетон деревянный брус (рис. 80б). Горизонт воды в отводном канале несколько ниже гребня



Рис. 79. Сечение распределительного канала.

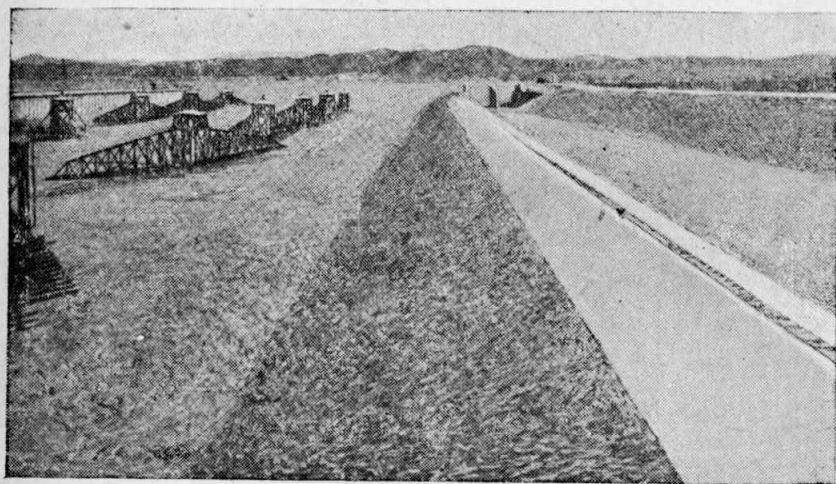


Рис. 80а. Водосливная дамба отводного канала отстойника (общий вид).

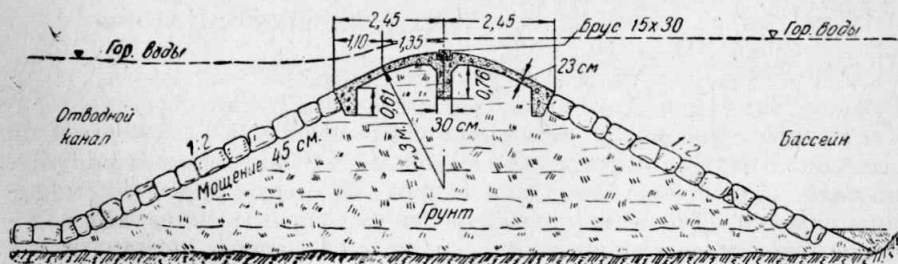


Рис. 80б. Водосливная дамба отводного канала отстойника (разрез).

водослива, так что для выключения, например, одной пары камер достаточно закрыть щиты в начале распределительных каналов и нет необходимости ограждать их со стороны отводящих каналов.

Отводные каналы одновременно могут служить обводными для подачи воды в магистральный канал помимо отстойника. Для этого обводные каналы соединены с подводящими к отстойнику каналами и в начале имеют сооружения с сегментными щитами размером $6,40 \times 5,20$ м. В нормальных условиях работы отводных каналов эти щиты закрыты.

Поскольку в нормальных условиях работы расход воды по длине отводных каналов переменный, сечение их несколько увеличивается к выходу в приёмную камеру, которая также имеет переменное сечение, увеличивающееся к магистральному каналу.

Камеры отстойника со стороны подводящего канала и приёмной отводной камеры образованы земляными дамбами, высота которых меняется в пределах 3,6—7,6 м, в зависимости от топографии местности. Все откосы в бассейне и в приёмной камере вымощены 45-сантиметровым камнем насухо. Дно отстойных камер не защищено ничем.

Главное сооружение Всеамериканского канала (рис. 75, 81) расположено на правом берегу реки Колорадо и представляет собой четырёхпролётный регулятор с вальцовыми затворами, пролётом по 22,8 м и высотой 7 м. Несколько впереди регулятора установлена решётка на металлических фермах, в плане имеющая излом и образующая перед регулятором аванкамеру с приподнятым дном, так что при входе в неё образуется порог высотой в 4,85 м. Со стороны берега аванкамера ограждена направляющей дамбой, к голове которой и примыкает решётка.

Продольный разрез водоприёмника

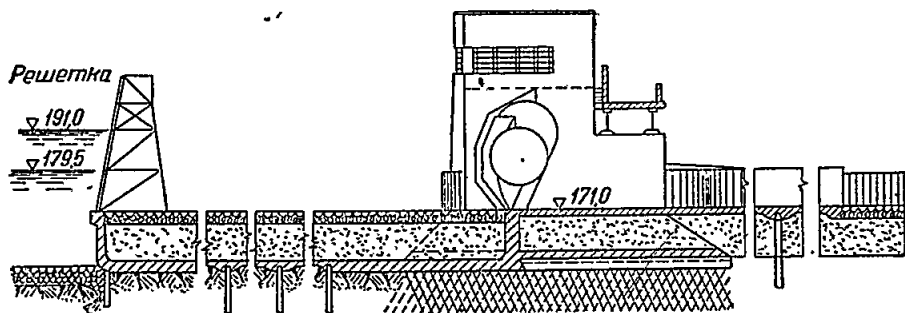


Рис. 81. Водоприёмник Всеамериканского канала (разрез).

Непосредственно за регулятором начинается подводящий к отстойнику канал, ограждённый со стороны реки дамбой; оба выложены камнем. Уклон дна этого канала 0,0004. Подводящий канал разделяется на четыре узких канала (по числу пролётов регулятора) продолжными бетонными шпунтовыми стенками (рис. 75), являющимися продолжением бычков регулятора. Каждый такой канал подводит воду к одному распределительному и обводному каналам, обслужи-

вая одну пару отстойных камер. Крайний к реке канал подаёт воду только к обводному каналу, являющемуся одновременно и отводным для чистой воды.

Такое разделение подводящего канала было обусловлено стремлением не допускать его заиления при уменьшении расхода воды, когда несколько камер будут выключены из работы.

Очистные механизмы

Наносы из отстойника удаляются путём промывки. При столь больших камерах отстойника непосредственная промывка наносов потребовала бы значительных расходов воды и сложных щитовых устройств. Для повышения содержания наносов в промывном потоке и сокращения таким путём промывного расхода были применены для концентрации отлагающихся наносов вращающиеся скребковые механизмы (рис. 82, 83), которые непрерывно сгребают наносы к промывным отверстиям в дне камер. Этим удаётся поднять содержание наносов в промывном потоке до 10% по весу.

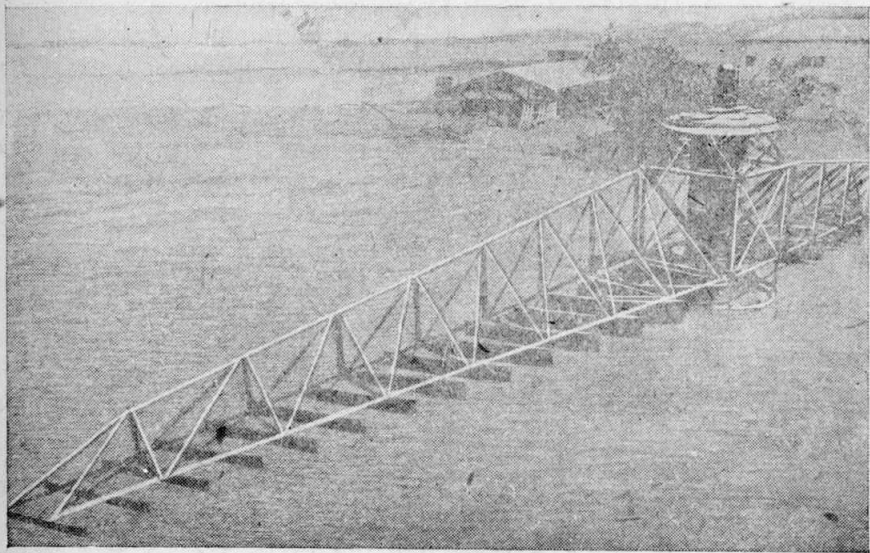


Рис. 82. Общий вид скребкового механизма.

Каждый скребковый агрегат имеет пару вращающихся консольных ферм, несущих изогнутые скребки (из специального сплава стали) такой длины и так взаимно расположенных, что при вращении фермы каждый скребок сдвигает наносы по направлению к центру, в область захвата соседнего скребка.

• Так как каждый агрегат имеет две фермы со скребками, то при одном обороте наносы передвинутся к центру на два интервала между скребками. Для полного сдвига наносов к центру (промывным отвер-

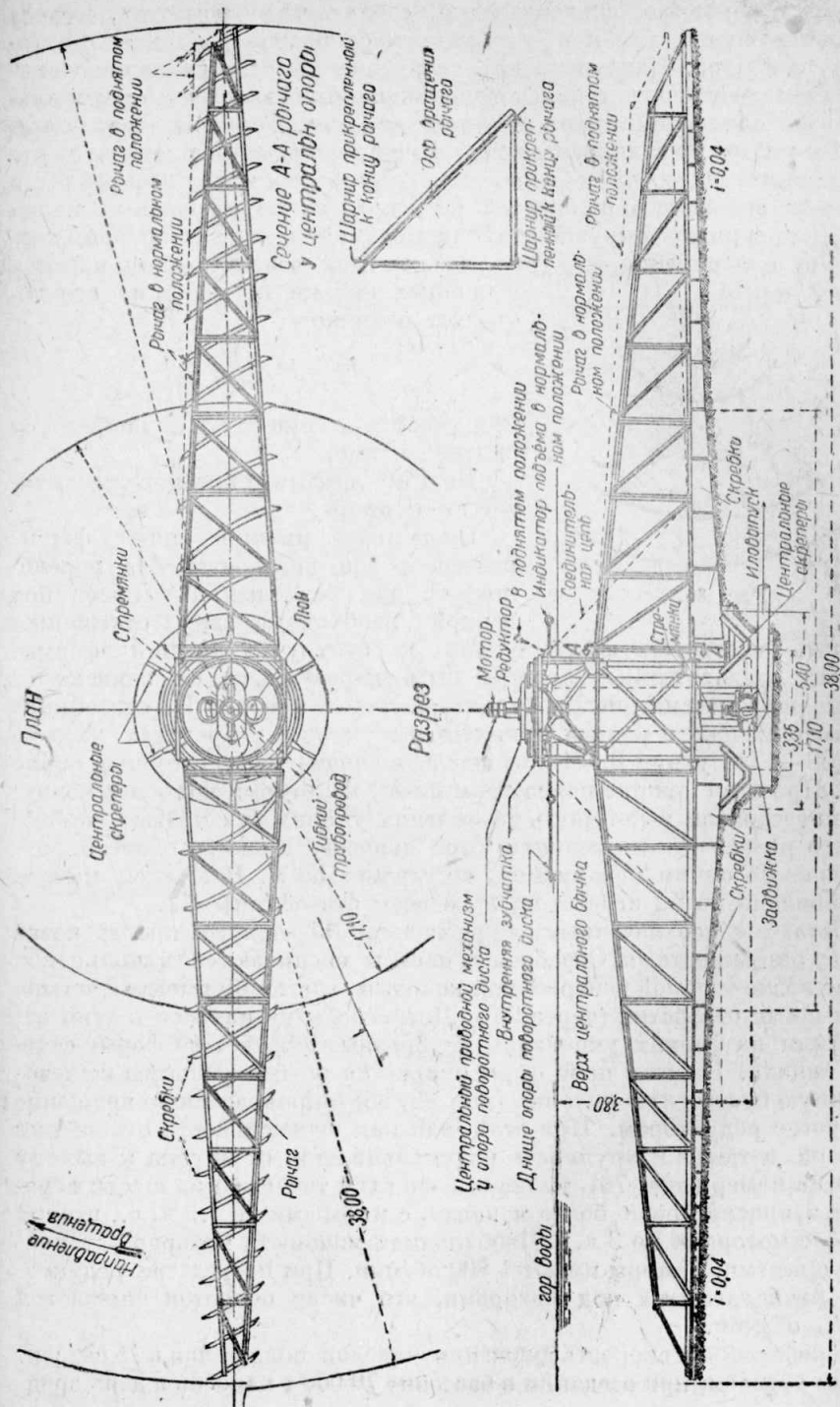


Рис. 83. Конструкция скребового механизма с опорной частью.

станны необходимо, следовательно, сделать число оборотов, равное половине числа скребков, оставшихся от рассматриваемого интервала до центра. Непрерывность сдвигания наносов из каждого интервала предотвращает образование больших отвалов их в центральной зоне очищаемой одним агрегатом области. Толщина сдвигаемого слоя к центру увеличивается вследствие уменьшения площади кольца, принимающего на себя наносы. Если ферма имеет n скребков и радиусы внешних окружностей последовательно очищаемых колец $r_1, r_2, \dots, r_n$, а радиус окружности, описываемой внутренним ребром первого от оси скребка, — r_0 (рис. 84), то при толщине слоя наносов в крайнем кольце h_n толщина его достигнет величины

$$h_1 = h_n \frac{r_n^2 - r_{n-1}^2}{r_1^2 - r_0^2}$$

при сдвиге наносов на первое от центра кольцо.

Поэтому высота скребков увеличивается к опоре.

Поскольку нижний пояс фермы целесообразно устраивать без переломов, то для размещения наносов под фермой необходимо дну отстойника

придать соответствующий уклон к центру вращения фермы. Уклон, следовательно, должен быть переменным; он зависит от расстояния рассматриваемого интервала от центра. В отстойнике Всеамериканского канала приняты два уклона: в пределах диаметров 38—17 м уклон 0,041 и от центра до диаметра в 17 м уклон около 0,07. При этом нижние пояса ферм имеют некоторый подъем к концу, что потребовало некоторого увеличения уклона дна против необходимого из расчета по толщине слоя наносов. Диаметр области, охватываемой одним механизмом, составляет 38 м. В каждой камере установлено по 12 агрегатов, а во всем отстойнике—72.

Остаются неохваченными скребковыми агрегатами пространства между окружностями. Сгребаемые наносы сваливаются в кольцевой канал возле опорной центральной колонны, в котором имеются четыре промывных отверстия (через 90°). Для сгребания наносов к этим отверстиям на фермах укреплены V-образные скребки по форме сечения канала. Каждая пара ферм опирается на центральную железобетонную пустотелую колонну (рис. 85, 86) и приводится во вращение мотором с редуктором. При этом, так как интенсивность отложений наносов, а также и крупность их уменьшаются от выпуска к выходу воды из камер (рис. 76), то первый ряд (по течению) из шести агрегатов запроектирован более мощным, с моторами по 7,5 л. с., второй ряд — с моторами по 3 л. с. Необходимая мощность моторов установлена опытами. Моторы имеют 1 800 об/мин. При посредстве редукторов, располагаемых под моторами, это число оборотов снижается до $\frac{1}{13}$ об/мин.

Периферийная скорость движения скребков получается в 15 см/сек. Таким образом, при оседании в бассейне 70 000 т наносов в день сред-

нее количество наносов, передвигаемых одним агрегатом за один оборот составит, примерно, $5,8 \text{ м}^3$.

Фермы имеют два нижних пояса, к которым прикрепляются скребки, и один верхний—наклонный. В поперечном сечении ферма представляет прямоугольный треугольник (рис. 83). Движение её происходит в сторону прямого угла.

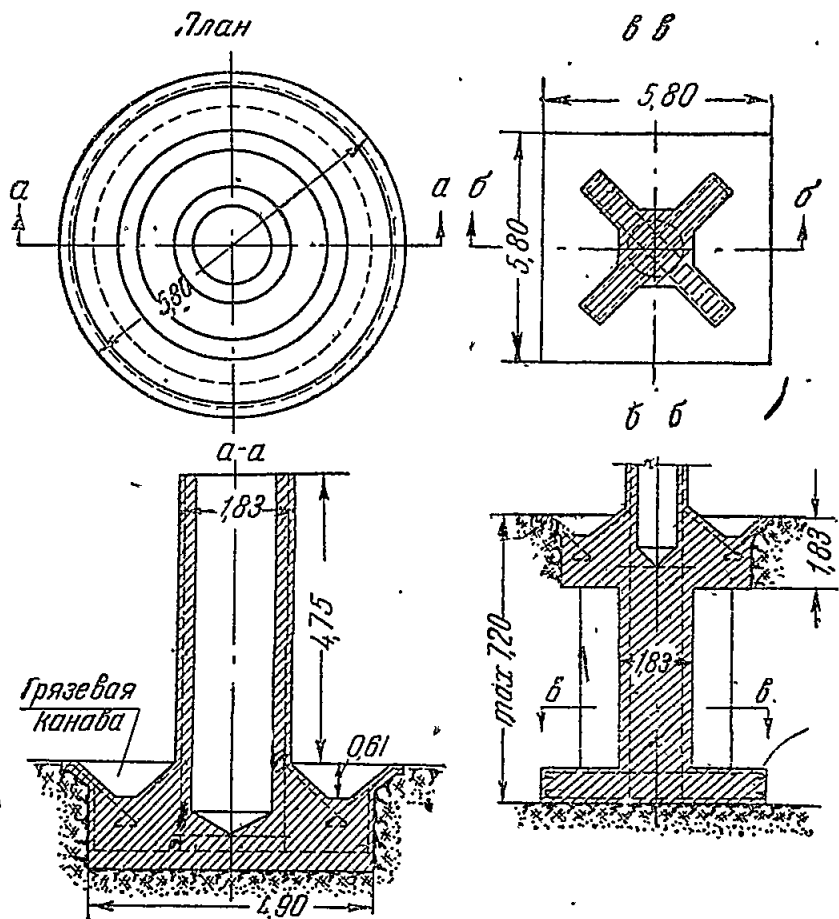


Рис. 85. Опорная колонна скребкового механизма.

Каждая консольная ферма укрепляется шарнирно в двух местах на опорной пространственной ферме (клете) квадратного сечения в плане, опоясывающей бетонную колонну и подвешенной, в свою очередь, к опорному вращающемуся диску. Шарнирное присоединение консолей осуществлено в местах примыкания верхнего и нижнего заднего поясов. Передний нижний пояс (ведущий) не имеет жёсткого соединения с опорной фермой (клетью), здесь он опирается свободно на подушку и удерживается в таком положении весом самой

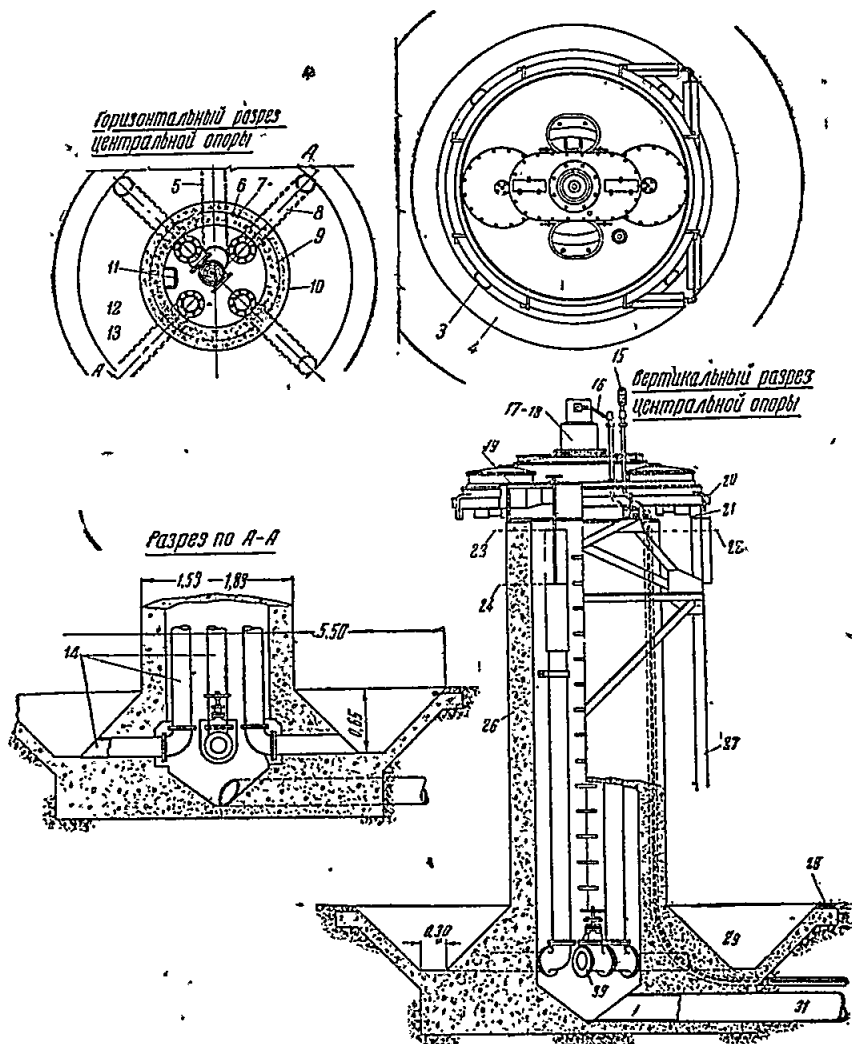


Рис. 86. Промывные устройства в опорной колонне.

3—выпускное отверстие для наносов; 4—грязеспуск; 5—отводящая труба; 6—электропровод; 7—сигнальный провод; 8—выпускная труба для наносов; 9—анкерные болты 11/4"; 10—центральная бык; 11—стремнина; 14—выпускные трубы для насосов; 15—световой указатель; 16—глубокое соединение; 17—18—мотор-редуктор; 19—опора поворотного диска; 20—внутренняя зубчатка и верх поворотного диска; 22—уровень воды; 23—в поднятом положении; 24—в опущенном положении; 26—тип быков А; 27—центральная опора; 28—дно бассейна; 29—грязеспуск; 30—задвижка; 31—отводящая труба для насосов.

фермы. Такое соединение позволяет фермам несколько приподниматься в случае перегрузки. При этом вращение консоли происходит около гипотенузы треугольника (сечения фермы у опоры) (рис. 83), так что, когда сопротивление перемещаемых наносов превзойдет пре-

дельно допустимую нагрузку на одну ферму, то она автоматически приподнимается, отклоняясь несколько назад и вверх, и тем уменьшает толщину перемещаемого слоя наносов, уравнивая сопротивление их и горизонтальную составляющую веса соответствующих частей фермы. Отклонение фермы происходит также и вследствие случайных препятствий. Ферма сама возвращается в первоначальное положение после устранения препятствия. Опорный диск, к которому подвешены скребковые фермы, поддерживается на шариковых подшипниках, имеющих диаметр 2,9 м для мощных агрегатов, с моторами по 7,5 л. с., и 2,6 м для второго ряда агрегатов, с моторами по 3 л. с. Диаметр шариков 38 мм.

Промывные устройства

Удаление наносов из каждой камеры осуществляется посредством двух коллекторных трубопроводов, уложенных в туннеле по оси камер (рис. 87). Высота туннеля 2 м (рис. 88). Длина

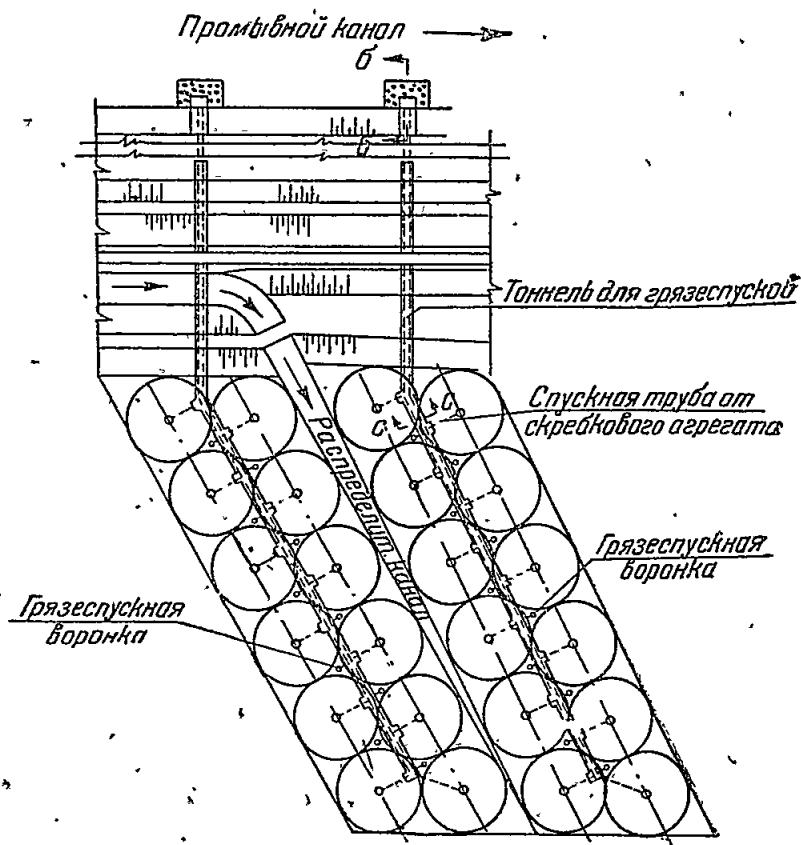


Рис. 87. Промывные коллекторы (грязеспуск) отстойника.

одного тоннеля 305 м. Тоннель проходит под подводящими каналами и заканчивается смотровой камерой (рис. 89) вблизи правого берега сбросного канала.

Коллекторные трубы имеют диаметр, изменяющийся от 37,5 см в начале (у верхнего конца) до 90 см в конце у выпускного конца. Выпуск гидромассы производится в сбросной канал при соответствующем укреплении выпускного оголовка (рис. 90). Коллекторы выполнены из марганцевой стали, так что при скорости десятипроцентной гидромассы в 1,8 м/сек. можно не опасаться чрезмерной эрозии труб. Каждая коллекторная труба принимает гидромассу от одного ряда агрегатов.

Так как количество наносов, очищаемых первым рядом из шести агрегатов, будет значительно больше, чем у второго ряда, то и диаметры коллекторных трубопроводов приняты разные (рис. 88).

От каждого скребкового агрегата идёт одна спускная труба диаметром в 204 и 254 мм, соответственно мощности агрегатов. У соединения этих спускных труб с коллекторами на них установлены

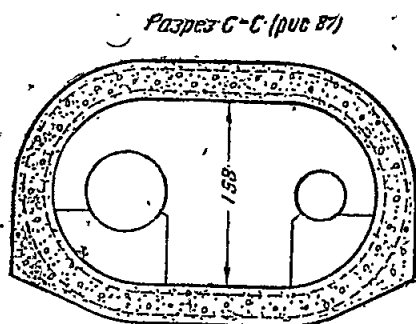


Рис. 88. Тоннель с промывными коллекторами.

От каждого скребкового агрегата идёт одна спускная труба диаметром в 204 и 254 мм, соответственно мощности агрегатов. У соединения этих спускных труб с коллекторами на них установлены

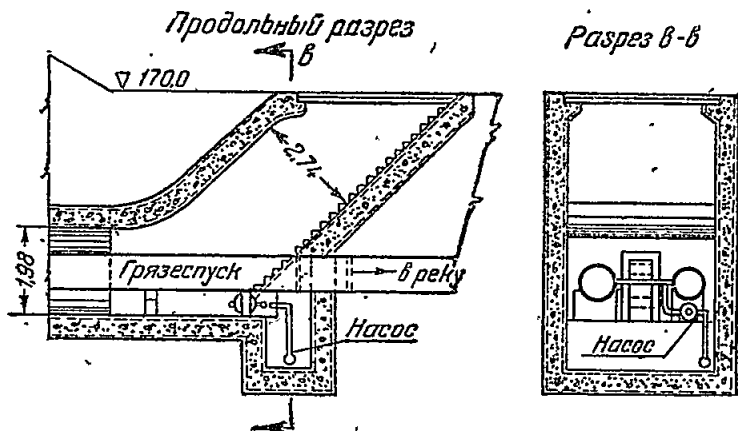


Рис. 89. Смотровая камера промывного коллектора.

задвиги, а для возможности промывки на случай забивки труб подведён напорный трубопровод (рис. 91). Эти спускные трубы выходят в центральную часть опорной колонны, куда промываются наносы из сбросного кольцевого канала у каждого агрегата. Промывка же наносов из каждого кольцевого канала производится через четыре отверстия на внутреннем откосе его.

Выпуск гидромассы внутрь опорной колонны производится через четыре трубы—стояка (рис. 86), каждый из которых снабжён двумя регулируемыми расход (а значит и состав) гидромассы затворами: один — внизу стояка, другой — наверху в виде подвижного патрубка. Управление этими затворами производится тяжами сверху опорной колонны. У одного из стояков внизу вместо колена поставлен тройник с задвижкой на свободном конце, служащий для опорожнения бассейна.

Для смыва наносов из треугольных пространств около оси камер, не охватываемых скребковыми агрегатами, устроены спускные воронки с трубами, соединёнными с общими грязевыми коллекторами. Остаются, таким образом, такие же треугольные зоны возле береговых откосов камер, откуда наносы не промываются.

По мере накопления наносов в этих местах они будут сползать в область захвата скребкового агрегата, но известная часть их всегда будет оставаться несмытой.

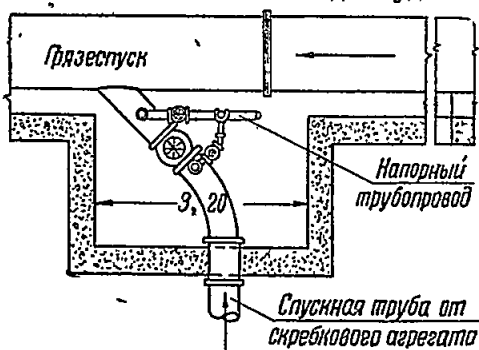


Рис. 91. Соединение спускной трубы с промывным коллектором.

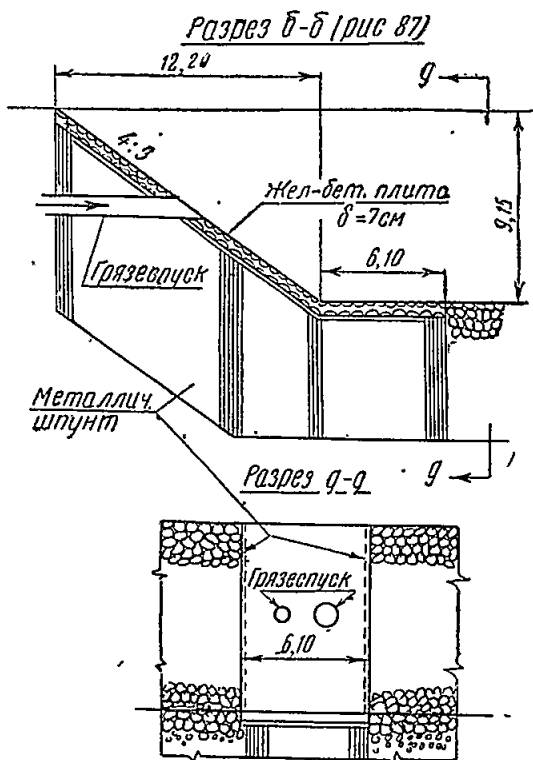


Рис. 90. Выпуск промывных коллекторов в сбросной промывной канал.

Для смыва наносов, сбрасываемых коллекторами в реку, рядом с регулятором (головным сооружением) в плотине устроен сбросной шлюз с донными отверстиями, перекрытыми сегментными щитами (рис. 92). К этому шлюзу ниже примыкает промывной канал, отделённый от реки дамбой из каменной наброски. Канал этот тянется до конца отстойника. Через сбросной шлюз предпола-

гается сбрасывать до 170 м³/сек., являющимися нормальным излишним расхода в реке, не требующегося для орошения и достаточного для смыва наносов вниз по реке.

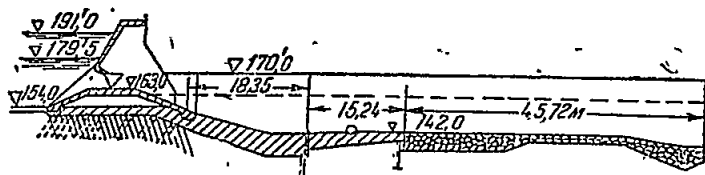


Рис. 92. Сбросной шлюз для смыва наносов из промывного канала (разрез).

Управление отстойником

Управление скребковыми механизмами и сегментными затворами производится из центрального распределительного пункта, находящегося на вершине холма у Калифорнийского конца плотины Империял. Кроме того, имеются пункты управления бассейнами на дамбе у верхнего конца каждой пары бассейнов. Управление скребковыми механизмами может быть осуществлено тремя путями:

1) их можно пускать и останавливать индивидуально с помощью выключателей на распределительных щитах пунктов управления бассейнами;

2) посредством главного выключателя на том же щите можно пускать четыре агрегата в последовательном порядке и посредством главного остановочного кнопочного выключателя—останавливать сразу все агрегаты одного бассейна;

3) путём пусковой кнопки на распределительной доске главного регулировочного пункта можно приводить в движение те же самые пусковые приспособления последовательного выключения; аналогичным образом расположенная остановочная кнопка выключает все агрегаты одного бассейна (камеры). Управление всеми камерами бассейна одинаково. Каждый агрегат защищён от перегрузки двумя реле: одно из них даёт тревожный сигнал при лёгкой перегрузке мотора, приводя в действие звонок в пункте управления отдельным бассейном, и зажигает красную лампочку на агрегате и белую лампочку около индивидуального выключения мотора на распределительной доске пункта управления камерой.

Другое реле выключает мотор при наличии перегрузки тока в 25 %. Это реле при достижении нагрузки в 125 % открывает контактор мотора и останавливает его. Когда этот контактор открывается, на соответствующем агрегате зажигается белый свет; а у выключателя мотора на распределительной доске пункта управления камерой зажигается красный свет.

В то же время раздаётся гудок на крыше этого пункта управления.

Для контроля работы промывных труб и коллекторов имеется внутри каждой опорной колонны поплавковый выключатель, при-

ходящий в действие при переполнении опорной колонны. В этом случае зажигается красный свет на агрегате и белый свет у управляющего мотором выключателя. Кроме того, раздаётся звонок в пункте управления данным бассейном.

Управление затворами на распределительных (выпускных) и обводных (отводных) каналах может производиться из здания щитов, из пункта управления данным бассейном или из главного пункта управления. Положение затворов обводных каналов показывается указателями на распределительных досках как пункта управления камерой, так и центрального пункта.

Контроль за уровнями воды в распределительных каналах в каждом бассейне и в магистральном канале производится посредством специальных указателей в центральном пункте управления. В отдельных пунктах управления каждой парой бассейнов (камер) имеются указатели уровней воды в соответствующем распределительном канале и данной паре камер.

Строительство Всеамериканского канала и головного узла производилось под руководством Бюро мелиораций США.

Глава VII

РАСПОЛОЖЕНИЕ ОТСТОЙНЫХ БАССЕЙНОВ И КОМПАНОВКА УЗЛА

При проектировании отстойных бассейнов весьма существенными вопросами являются:

1) положение их на деривации—в начале деривации, на протяжении её, на сети (внутрисистемные) или в конце деривационного силового канала;

2) компоновка узла с отстойным бассейном, что особенно важно при расположении его в голове деривации;

3) компоновка самого отстойника—положение отдельных элементов, форма отстойной камеры.

Факторами, определяющими положение отстойника, являются, в основном, следующие:

1. Состав и количество наносов в реке, из которой забирается вода. Так как обычно в деривационных (магистральных) каналах, отводящих воду из горных рек или вообще из рек, влекущих значительное количество взвешенных и донных наносов, скорости меньше, чем в источнике питания, особенно в паводок, то и транспортирующая способность отводимого потока падает. Начинается интенсивное выделение наносов в головном участке канала. Примером может служить интенсивный занос голов магистральных каналов в низовьях Аму-Дарьи, сильно сокращающий расход в них. В борьбе с этим явлением устраивают несколько голов канала: по мере занесения одной воду начинают забирать через другую.

Участок занесения наносами в голове магистрального канала достигает иногда нескольких километров (5—7), что зависит от количества и состава наносов, а также от длительности работы

канала без чистки. Это обуславливает необходимость установки отстойника в голове канала. Перенос его ниже потребует организации чистки наносов на головном участке, как это и имеет место, например, на канале Саят-Наухана (Аму-Дарья), где относительно большее количество наносов очищается в подходном участке канала, чем даже в начале отстойника. Но в данном случае длина подходного участка мала, и это не вызывает особых затруднений при чистке его теми же средствами, что и в отстойнике. Совсем иное получится при значительной длине подходного участка канала перед отстойником.

Наличие в потоке крупных наносов (галльки) особенно быстро может обусловить занос головного участка, поскольку участок занесения в этом случае сильно сокращается. Если транспортирование известного количества мелких наносов по каналу ещё возможно обеспечить при дальнейшем выносе их на поля, то транспортирование галльки вообще недопустимо даже при наличии больших скоростей, так как тогда канал бетонируется.

Истирание же бетонировки галлькой идёт весьма интенсивно (68). Это требует устройства в голове канала гравиеловки или иных мер борьбы с донными наносами.

2. Наличие других мер борьбы с наносами в голове деривации. Например, в Кадырьинской гидростанции в голове деривационного канала установлен регулятор с донными промывными галлереями в пороге его и промывной плув в плотине. Это до известной степени оградило канал от основной массы крупных наносов. Остальная часть песчаных наносов транспортируется по земляному каналу до напорного бассейна, где они и задерживаются в аванкамере-отстойнике. Такое решение отчасти оправдывается земляным (лёсс) руслом канала, несомненно частично снабжающим поток наносами при скорости около 0,9 м/сек., а также наличием в конце канала бокового водослива для сбросов излишка воды, что обеспечивает достаточно постоянную скорость воды в канале. Защита канала только от донных наносов в ирригации не гарантирует от занесения сети мелкими наносами, а иногда и головного участка магистрали, например, в условиях Аму-Дарья, когда имеем дело с потоком, сильно насыщенным мелкими взвешенными наносами. Это будет обуславливать необходимость отстойника в голове канала.

3. Наличие плотины при водозаборе и величина подпора. Здесь имеются в виду плотины относительно невысокие (до 10—20 м), когда роль создаваемого там водохранилища в борьбе с наносами незначительна.

При малой высоте плотины и обычно значительной глубине отстойника будет происходить подтопление его со стороны нижнего бьефа, и при всех применяемых в настоящее время системах отстойников с гидравлической периодической промывкой будет встречаться затруднение при промывке¹. Устройство же длинного промывного канала не всегда разрешает этот вопрос (при малом уклоне реки—см.

¹ Это относится также к отстойнику Дюфура, если в нем предусматривается периодическая промывка.

выше). Поэтому для получения необходимого перепада для облегчения промывки наносов и переносят отстойник ниже по каналу; вместо, удобное для сброса наносов в реку или овраг. Так поступили при устройстве отстойника на каналах Форт-Ларам и Канакирской гидростанции (см. описание в главах VIII и IX). Наличие даже невысокой плотины позволяет применить радикальные меры защиты деривации от донных наносов в голове канала.

4. Характер предприятия. В гидросиловых установках каналы применяются преимущественно бетонированные, с большими скоростями течения при расчётных условиях, т. е. при низком уровне в верхнем бьефе плотины. При небольших колебаниях уровня в источнике питания для сохранения напора на гидростанции они распространяются и на канал. Таким образом, скорости в канале значительно уменьшаются, что может обусловить отложения наносов в нём.

В Дзорагетской гидростанции даже при наличии отстойника в голове деривации отмечается некоторое заиливание тоннеля (безнапорного) при колебаниях расхода воды в нём, как показывает опыт эксплуатации ГЭС (см. описание в главе IX).

При малом общем падении уровня по длине канала он устраивается саморегулирующимся, т. е. на всём протяжении канала при остановке станции устанавливается горизонтальная поверхность воды соответственно уровню верхнего бьефа плотины.

Каналы нередко используются для суточного регулирования гидростанции, что характеризуется также резким изменением скорости течения в них.

Всё это может обусловить заиливание каналов (например, Канакир-ГЭС), требующее последующего выключения для чистки. А учитывая, что частые систематические выключения канала недопустимы, так как это сопряжено с остановкой станции, необходимо принимать наиболее радикальные меры по борьбе с наносами в голове канала.

Это тем более необходимо при наличии специального бассейна суточного регулирования в конце деривации, не имеющего промывных устройств и очищаемого обычно при опорожнении его.

При длинных деривационных каналах и значительных потерях напора в них (до нескольких метров) в конце устраиваются сбросы воды, ограничивающие колебания уровня и поддерживающие постоянство расхода и скорости в каналах (в известных пределах). В таких случаях наносы не будут отлагаться в канале (при значительной скорости в нём), если колебания уровня в верхнем бьефе плотины незначительны или если они не передаются на канал, а расход в канале регулируется в голове его.

В таких случаях, очевидно, отстойник может быть перенесён и ниже на деривацию и даже совмещён с напорным бассейном при условии, что галечные наносы будут отсутствовать в потоке или будут задерживаться при водозаборе.

Применение тоннелей, наиболее часто встречающееся в гидросиловых установках, с технической стороны не может служить препятствием для расположения отстойника на протяжении тоннеля (рис. 93), но с экономической точки зрения это чаще не будет себя оправдывать.

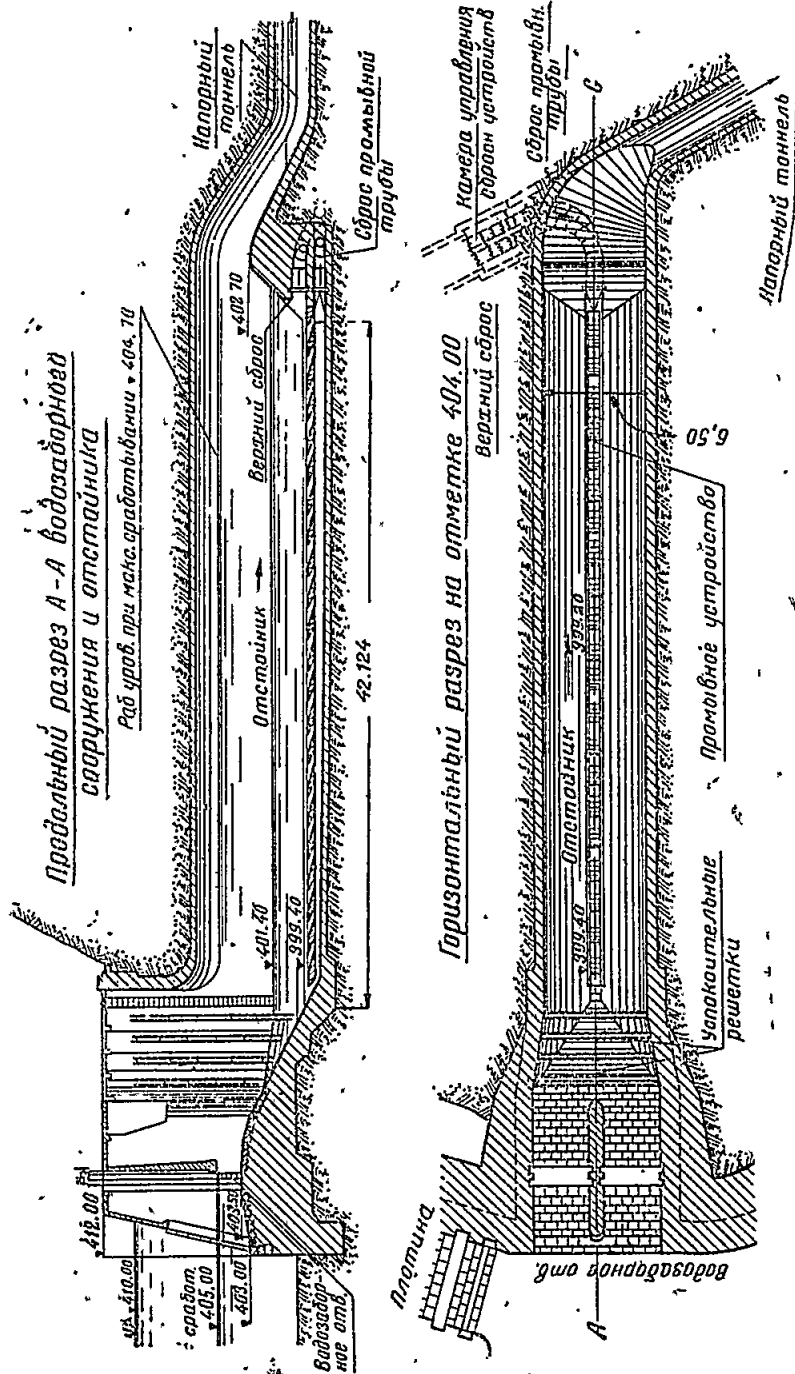


Рис. 93. Отстойник Дюфура в тоннеле.

Лишь исключительные местные условия (топография, геология, условия водозабора и пр.) могут привести к переносу отстойника на деривацию, в тоннель.

То же самое можно отметить и при наличии напорной деривации — штольни. Устройство отстойника на деривации здесь ещё более осложняется с технической стороны и требует полной автоматизации его очистки. Но применение напорных штолен обычно связано с водозабором из водохранилищ при значительном колебании уровня воды, когда наиболее опасные наносы задерживаются в бьефе и тогда не требуется специальных отстойников. В этом отношении характерен случай на Гизельдонской гидростанции, где водохранилище оказалось довольно быстро занесённым и наносы могли бы поступать в большом количестве в штольню. Но так как в водоприёмнике башенного типа ниже приёмного отверстия имеется донное промывное отверстие, то этим представляется возможность обеспечить напорную штольню от проникания в неё песчаных наносов. Образующаяся перед промывным отверстием воронка вымыва служит своего рода отстойником, необходимо лишь своевременно удалять из неё наносы.

В ирригации приходится иметь дело со значительно большей длиной магистрального канала, меняющего сечение по мере изъятия из него расходов воды в распределители. В холостой части магистрального канала расход воды обычно изменяется в вегетационный период, примерно, в два раза. В распределителях эти колебания расхода воды более значительны: расход иногда падает до нуля. Это преимущественно и обуславливает интенсивное заиление каналов.

В существующих старых системах магистральные каналы и сеть не бетонированы, что обуславливает снабжение потока наносами внутри самой системы, так что, устраивая отстойник в голове магистрального канала, проблему наносов до конца не разрешим. Очевидно, наряду с головными отстойниками, необходимы отстойники или иные меры борьбы с наносами и внутри систем. Это особенно важно при переходе к напорной сети при открытых магистральных каналах.

Водозабор в ирригационных системах чаще осуществляется пока бесплотинный, без мероприятий по борьбе с захватом наносов, если не считать иногда наличие малоэффективных входных порогов в регуляторах, когда они имеются. Этим определяется значительный захват в канал донных наносов, отлагающихся сразу же при поступлении в отвод, как, например, на Вахшском магистральном канале, на каналах Южного Хорезма и др.

Особенно сильное занесение головных участков происходит при отсутствии регулятора в голове канала, когда в него поступает значительно больший потребного расход воды при повышении уровня в реке в паводок, а излишки воды сбрасываются через специальное сооружение, устраиваемое в нескольких километрах от головы. В целях борьбы с занесением магистралей на таких системах Туркменводхоз совершенно правильно встал на путь оснащения их головными отстойниками с регуляторами расхода воды¹. Опыт показал, что

¹ Для борьбы с донными наносами, в целях облегчения работы механизмов по очистке отстойников, устанавливаются направляющие системы проф. Потапова.

заиление систем после устройства головных отстойников существенно сократилось.

Небольшой сдвиг отстойника вниз по каналу приводит к занесению подходного участка канала, особенно если и головной регулятор переносится вместе с отстойником: тогда колебание уровней в подходной части канала будет следовать за колебанием их в реке. При относительно постоянном расходе воды в канале это обусловит резкое изменение скоростей в нём.

Таким образом, во всех случаях рассматриваемых производств отстойные бассейны в головных участках магистральных каналов или вообще деривации являются наиболее рациональными с точки зрения задержания и концентрации наносов, независимо от наличия вторичных отстойников на системах или в конце деривации гидроустановки.

В ряде случаев гидросиловых установок головные отстойники могут быть отнесены на деривацию, недалеко от водоприёмного узла, лишь с целью обеспечить перепад для промывки наносов.

В качестве вторичных отстойников могут быть использованы аванкамеры напорных бассейнов, а иногда при наличии в голове иных мер борьбы с донными наносами, они могут быть и единственными отстойниками во всей схеме гидроустановки.

В ирригации при бесплотинном водозаборе головные отстойники должны быть вплотную придвинуты к входу в канал, учитывая лишь возможный смыл берега, а при наличии головного регулятора при входе их целесообразно располагать непосредственно за сооружением, поскольку нет опасения смыва входной части канала.

Вторичные отстойники на системах могут быть расположены:

- 1) перед дюкерами, если поток успеет насытиться до него после осветления в головном отстойнике;
- 2) после сильно размываемых участков канала;
- 3) при значительном уменьшении уклона канала, когда можно ожидать отложений наносов в начале участка с уменьшённым уклоном;
- 4) в головах распределителей, особенно имеющих значительные колебания расхода воды.

Но во всех этих случаях можно устраивать относительно небольшие отстойники для задержки, главным образом, донных наносов (песколовки), периодически очищаемые землесосом, обслуживающим ряд таких отстойников.

Компановка головного узла с отстойником зависит от состава его.

Бесплотинный водозабор с применением отстойников с механической чисткой

Здесь возможны такие случаи:

1. Водозабор без регулятора при входе в канал и у отстойника; вследствие возможности захвата излишнего расхода воды и усиленного заиления отстойника, схема не может считаться приемлемой.

2. Водозабор с регулятором в голове канала; отстойник может непосредственно примыкать к регулятору или отстоять от него на некотором расстоянии.

Схема имеет такие преимущества:

а) Горизонт воды в отстойнике определяется забираемым расходом воды и не зависит от уровня в реке. В пределах бытового колебания расхода воды в канале (вдвое) глубина в нём будет изменяться медленнее, чем расход. Это обстоятельство имеет следующее существенное отражение на работе отстойника: с уменьшением расхода воды уровень в отстойнике снижается непропорционально расходу воды, а медленнее; следовательно, скорость течения в нём будет уменьшаться, что при одновременном уменьшении глубины сильно повысит эффективность отстойника. При уменьшении скорости и в канале более интенсивное осветление потока является необходимым для предупреждения заиления канала. При этом следует ширину отстойника назначить с таким расчётом, чтобы колебание мутности осветлённой воды при изменении уровней соответствовало хотя бы приблизительно изменению транспортирующей способности канала.

б) При необходимости отстойник представляется возможным удлинять в процессе эксплуатации.

в) Отстойник может быть защищён от мусора, льда и донных наносов применением соответствующих конструктивных элементов в регуляторе (забрало, решётки, шандорный порог и пр.).

Расположение отстойника непосредственно за регулятором будет иметь тот недостаток, что большие выходные скорости потока, особенно в паводок (при выпуске воды из-под щита), создадут значительную неравномерность распределения скоростей в верховой части отстойника. Поэтому целесообразно отстойник несколько удалять от регулятора для успокоения потока и некоторого уменьшения и выравнивания скорости по сечению подводящего канала. Этот сопрягающий участок канала должен быть минимальной длины, так как возможно заиление его, сопряжённое с худшими условиями очистки в нём наносов и с уменьшением его пропускной способности.

Данная схема применима вообще при достаточно устойчивом берегу и русле.

3. Водозабор без регулятора в голове канала; регулятор устанавливается у отстойника; здесь могут встретиться три случая:

а) Отстойник непосредственно у входа в канал, регулятор сразу за отстойником. Схема применима при достаточно устойчивом берегу. Она имеет ряд существенных недостатков, а именно: отстойник не может быть удлинен без переноса регулятора. Устройство второго отстойника ниже регулятора сопряжено с неудобствами его очистки, требующей второго комплекта снарядов, вход в отстойник при значительных скоростях в реке неудовлетворителен, в нём будут появляться водоворотные зоны и местами сильно повышенные скорости в верхней части отстойника.

б) Отстойник отнесён ниже, на канал; регулятор расположен перед отстойником. Схема применима при неустойчивом берегу. Подходная часть канала будет сильно заноситься наносами, особенно в паводок, когда горизонт воды в подходном канале поднимется. Чистка же его снарядами, работающими на отстойнике, невозможна. Выпуск воды в отстойник в паводок производится из-под щита, что нарушает его нормальную работу. Схема нерациональна.

С целью предотвращения заилиения подходной части канала необходимы: установка в реке направляющей системы проф. Потапова или устройство сброса перед отстойником для увеличения скоростей в подходной части канала. Это далеко не всегда осуществимо и, кроме того, вызовет более усиленное завлечение донных наносов, для промывки которых потребуются и значительные скорости.

в) Отстойник отнесён ниже, на канал; регулятор расположен непосредственно за отстойником. Схема применима при неустойчивом берегу. При достаточном отнесении отстойника от входа в канал представляется возможность удлинить его. Но существенным недостатком этой схемы является сильная заносимость подходного участка канала. Этот недостаток, однако, искупается тем, что очистка подходного канала может быть произведена снарядами, работающими на отстойнике.

Колебание уровня в реке будет передаваться и на отстойник. Это может иногда потребовать устройства оградительных дамб.

При повышении уровня в отстойнике уменьшается скорость при постоянном расходе воды. Дальность выпадения частиц при этом не должна измениться; поскольку произведение $v \cdot H$, входящее в формулу длины отстойника, остаётся постоянным. Опытные же наблюдения инж. Бохина над работой отстойника Саят-Наухана показывают большую интенсивность осветления потока с уменьшением скорости даже при $vH = \text{const}$.

Это можно объяснить значительным снижением турбулентности при падении скорости и выпадением более мелких частиц, которые ранее, при нормальной скорости в отстойнике (0,20 м/сек.), не оседали.

При уменьшении же расхода воды в канале уровень в отстойнике не снижается; но зато скорость в нём падает значительно сильнее, чем, когда регулятор расположен перед отстойником. Таким образом и в данном случае имеется известное соответствие работы отстойника по осветлению потока с требованиями канала при меньшей скорости в нём иметь и более осветлённый поток.

Но здесь следует опасаться возможного переосветления потока, что повлечёт излишние работы по перекачке отложений и, возможно, размыв канала за отстойником.

Исследованиями экспедиции ВНИИГМ отстойника Куль-Арык (Туркмения) эти опасения и подтвердились (см. описание этого отстойника, часть II).

В данной схеме имеется и ещё ряд преимуществ, например, возможность вывода снарядов в реку и уменьшение высоты качки гидромассы при повышенном уровне в отстойнике, чего не имеем в схемах с регулятором перед отстойником.

Но все три схемы, предусматривающие только одно регулирующее сооружение, не обеспечивают регулирования степени осветления потока в зависимости от колебаний уровня в реке и расхода в канале.

Регулирование мутности, как показали исследования отстойника Куль-Арык, является весьма важным обстоятельством, поскольку без вреда для системы представляется возможным транспортировать через неё известное количество мельчайших наносов на поля. Это позволит сократить объём очистки в отстойнике; по под-

счётам инж. Большакова, в отстойнике Куль-Арык таким путём можно уменьшить объём очистки, примерно, на 100 000 м³ наносов за один вегетационный период.

В целях регулирования мутности могут быть предложены различные меры как конструктивного, так и эксплуатационного порядка.

а) Устройство обводного канала возле отстойника с регулятором в начале его. По мере уменьшения мутности в реке с понижением уровня воды расход, пропускаемый через обводной канал, следует увеличивать вплоть до полного выключения отстойника. При этом, во избежание подачи в магистральный канал крупных фракций наносов, голову обводного канала можно устраивать не впереди отстойника, а несколько ниже, — на одном из берегов его, там, где обычно кончается выпадение наиболее крупных фракций наносов. В этом случае регулирующее сооружение отстойника необходимо ставить ниже его, на магистральном канале.

Сооружение же на обводном канале может быть и в начале его и в конце. Во втором случае канал будет заилиться при поднятии уровня в реке. Очистка его вполне возможна снарядами, работающими на отстойнике, поскольку вход в него свободный.

б) Устройство двукамерного отстойника с расчётом каждой камеры на пропуск половины расхода магистрального канала. В этом случае возможны различные схемы расположения регулирующих щитов: в начале или в конце камер. Подсчёты по обеспечению регулирования мутности в конкретных условиях покажут наиболее целесообразное решение.

в) Устройство регулирующих щитов в начале и в конце отстойника. Эта схема позволяет устанавливать любые уровни в отстойнике в пределах колебания их в реке и в канале.

г) Многокамерный отстойник наподобие многоголового водозабора с общим регулятором в конце и со сбросом для промывки камер¹.

Плотинный водозабор

В данном случае схемы компоновки могут быть следующими:

1. Отстойник расположен в реке навстречу потоку (рис. 116, 120). В отношении условий подхода воды к отстойнику такое расположение является наиболее благоприятным. Но вследствие сильного стеснения потока, изменения гидрологических условий, а также заиления верхнего бьефа трудно бывает сохранить эти благоприятные условия. Во всех существующих в СССР водозаборах подобного рода можно отметить неудовлетворительную работу карманов или отстойников, особенно в тех случаях, когда при входе в отстойник нет щитов, например, в водозаборах Верхне-Зеравшанского узла (68) (рис. 94) и на реках Чу у Чумыша (рис. 116) (см. описание ниже в главе X).

В данной схеме следует отметить такие вариации:

а) В начале отстойника (кармана) нет щитов

¹ См. Шаумян В. А. Эксплуатация водозаборных узлов оросительных систем, 1943 г.

т о в. При этом следует различать отвод воды в канал сбоку, когда отстойник может быть только однокамерным (рис. 94), или в нижней торцевой стенке, по эльсеновскому способу, когда отстойник может быть разбит на камеры (рис. 116).

Отсутствие щитов в начале существенно ухудшает условия работы отстойника, а именно: при промывке требуется большой расход воды и, следовательно, большая пропускная способность промывных отверстий; взмучивание наносов при промывке вызывает усиление их поступления в деривацию, если она не выключается на это время.

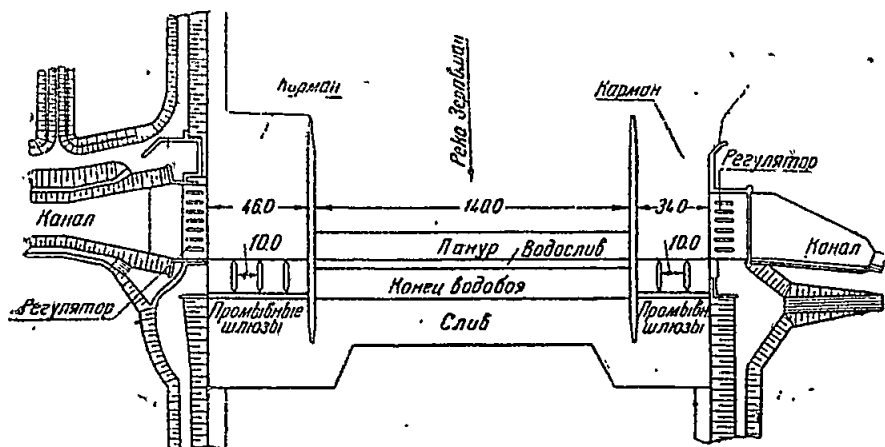


Рис. 94. Водозабортный Верхне-Зеравшанский узел.

Особенно интенсивное завлечение наносов будет происходить при боковом отводе воды из кармана (рис. 94), когда захват придонного слоя потока усиливается. В лучших условиях в этом отношении будет находиться отвод в торцевой стенке с донными отверстиями в пороге, отводящими донный слой потока в нижний бьеф. Эта схема имеет малую производительность промывного потока (см. описание работы водозаборов на реке Чу и Малка-Куринского канала).

При большой пропускной способности промывных отверстий в межень можно ускорить промыв отстойника путём сильного снижения горизонта воды в нём. Это будет сопровождаться сработкой бьефа и промывкой отложений наносов в нём, что сильно увеличит длительность промывки, недопустимую по условиям эксплуатации, так как в это время канал выключается совсем или в нём расход воды снижается автоматически, а при многокамерном отстойнике работа непромываемых в это время камер сильно нарушается. Промывка бьефа через отстойник—карман влечёт за собой неудовлетворительность промывки самого отстойника: во время закрытия промывных отверстий значительная часть наносов задерживается в нём. Такая картина наблюдалась нами при промывке камер отстойника Малка-Куринского канала.

В данной схеме обычно промывные шлюзы или отверстия рассматриваются и как сбросные для паводка в целях экономии

на плотине. Это является отрицательной стороной в работе отстойника.

Здесь следует отметить также худшие условия работы кармана, как отстойника, при боковом отводе воды из него.

б) Отстойник со щитами в начале. По такой схеме осуществлены водозаборы с отстойниками в головах каналов Малка-Кура¹ (рис. 120) и Баксан-Малка (рис. 123). Но в первом предусмотрен и сброс паводка и вообще излишних вод через промывные отверстия отстойника; что выводит его из строя как раз в наиболее ответственный момент работы. Пропуск через отдельные камеры излишков воды во внепаводковый период также является недопустимым, так как нарушает работу соседних камер.

Сброс излишних вод приходится производить через промываемую камеру, т. е. менять их. А так как положение стержня подводящего потока остаётся неизменным, то в большинстве случаев будут иметь место неблагоприятные условия подхода воды к камерам, работающим на отстой.

В этом отношении лучшим решением будет устройство специального сбросного шлюза в плотине; например, как это сделано - водозаборе Баксан-Малка (рис. 122).

Использование промывных отверстий отстойника для частичного сброса излишних вод в этом случае возможно лишь при катастрофических паводках, т. е. как весьма редко повторяющееся явление.

Эта схема вполне удовлетворительна с точки зрения промывки отдельных камер, но, вследствие образующегося широкого бьефа перед входом в отстойник; в нём происходят отложения наносов, и поток начинает блуждать, создавая неблагоприятные условия входа воды в камеры (см. описание работы отстойника канала Малка-Кура); промывка же отложений перед отстойником через шлюз в плотине возможна только частичная.

Отметим ещё некоторые варианты расположения отстойника относительно плотины, это, когда отстойник весь размещается в верхнем бьефе (рис. 116) и когда входные отверстия в отстойник расположены по оси плотины, а сам отстойник размещён в нижнем бьефе (рис. 120а). Первое расположение даёт известную экономию на размерах наружной (речной) стенки — она безнапорная при отсутствии щитов в начале отстойника. При щитах же в начале его всепродольные стенки в обоих случаях будут напорные.

В отношении условий входа потока в отстойник вынос в верхний бьеф (дальше от плотины) входных отверстий даёт известные преимущества; но это обстоятельство вряд ли будет иметь решающее значение. В отношении же смыва наносов из области перед отстойником через промывные шлюзы плотины будет лучше положение отстойника в нижнем бьефе, тем более, что в этом случае представляется возможность вход в отстойник расположить под некоторым углом к плотине. Это обстоятельство позволяет лучше приспособить отстойник к условиям местности и меньше стеснять русло реки.

¹ В этом отстойнике ещё не во всех камерах были установлены щиты впереди.

Кроме того, при низовом расположении отстойника легче осуществима разгрузка дна его от фильтрационного давления.

в) Отстойник со щитами в начале врезан в берег, вследствие недостаточной ширины русла. Такое расположение имеет отстойник канала Баксанской гидроустановки (рис. 124). Существенным недостатком этой схемы является наличие подходной выемки, могущей заноситься наносами. Во избежание этого дно подходной выемки приходится устраивать возможно выше, доводя подходные скорости до необходимой для смыва наносов величины.

Но всё же, учитывая изменение гидрологических условий в реке, можно ожидать образования водоворотных зон в подходной выемке и занесения её в этих местах. Получающийся при входе в подходную выемку порог будет сильно вытянут по берегу. Для обеспечения промывки наносов, отлагающихся возле него, необходим в плотине промывной шлюз. В приводимом здесь примере (БаксанГЭС) для усиления промывного эффекта плотины устроена продольная раздельная стенка, доходящая почти до начала подходной выемки.

Данная схема расположения отстойника имеет достоинства, допускающая производство работ насухо без перемычек.

2. Отстойник расположен на берегу и входные его устройства совмещены с регулятором. Здесь следует отметить такие вариации:

а) Угол отвода 90° . Характерным в этом отношении является отстойник установки Клостер на реке Ландкарт (рис. 65). Большая ширина входа требует для промывки порога мощного промывного шлюза в плотине или донных промывных отверстий в нём. При этом длина донных промывных галлерей сильно возрастает, а в связи с этим увеличиваются потери напора в них, что, в свою очередь, требует повышения плотины. Количество донных отверстий в пороге увеличивается, а значит должен быть увеличен и промывной расход донных галлерей.

Схема не может обеспечить удовлетворительных условий входа в камеры, особенно в лаводок или при работе промывного шлюза, когда создаются большие касательные скорости. В результате в камерах будут, с одной стороны, водовороты, вследствие отжима потока, а с другой—повышенные скорости.

При малом числе камер (2—3) вход можно сжать, облегчив этим промывку порога. Но входные условия останутся неудовлетворительными, и для обеспечения равномерного распределения скоростей в камерах потребуются установка разбивательных решёток в начале камер. Подобным образом и устроен отстойник Варзобской гидроустановки (рис. 110) (см. описание, часть II).

б) Угол отвода острый (около $45-60^\circ$). В данном случае отстойник может быть выдвинут в реку (рис. 95а) или врезан в берег (рис. 95б). Если в первом случае ещё можно обеспечить смыв наносов от порога и из угла А при достаточной мощности промывных шлюзов, то во втором—образующаяся пазуха В будет совершенно непромываема шлюзом в плотине. Потребуется устройство донных промывных отверстий во входном пороге. По второй

схеме устроен водоприём Чирчикской гидроустановки (см. описание, рис. 126).

Условия входа здесь более благоприятны, чем при угле отвода в 90° . Но угол отвода должен быть соответствующим образом апробирован и согласован с величиной и формой врезки отстойника в берег (67).

Как некоторая вариация этой схемы расположения является водозабор с отстойником Земоавчальской гидроустановки (рис. 101), где вход выполнен в виде сильно вытянутого по фронту (110 м) криволинейного порога—водослива. При наличии очень мощного промышленного шлюза (расход его $900 \text{ м}^3/\text{сек.}$) им удаётся промыть лишь незначительную воронку, и почти весь порог высотой от 8 до 11 м остаётся занесённым наносами (см. описание работы узла сооружений ЗАГЭС в главе VIII).

Расположение отстойника непосредственно в голове деривационного канала имеет ещё и тот недостаток, что дно камер будет находиться под воздействием фильтрационного давления, если не принять необходимых мер по разгрузке от него, как это, например, сделано в отстойнике канала Малка-Кура (рис. 120а).

Но, с другой стороны, подобное расположение отстойника позволяет использовать донные галереи, а также и запасную камеру при сбросе катастрофического паводка. Этим может быть достигнуто существенное сокращение щитовых отверстий плотины. На Чирчикских гидроустановках таким путём удалось снизить стоимость плотины на $2\frac{1}{2}$ млн. рублей.

При переносе отстойника на деривацию не представилось бы возможности осуществить это.

в) Угол отвода в 90° , но отстойник повернут вдоль берега в зависимости от местных условий и направления деривации. Примером такой компоновки водоприёма с отстойником может служить головной узел гидроустановки Янакото (рис. 69). Эта схема позволяет сжать вход и тем облегчить промывку входного порога. Здесь каждая камера имеет самостоятельное питание. Для предупреждения выпадения наносов до камер, в подводящих лотках, скорости в них принимаются достаточно большими. Неблагоприятные условия входа потока в водоприёмник во время работы промывного шлюза плотины здесь не отражаются столь заметно на работе камер, как это имеет место при расположении их непосредственно за регулятором. Несколько в худших условиях в этом отношении будет находиться ближняя к реке камера.

Наличие в начале камер разбивательных решёток, надо полагать, обеспечит достаточно равномерное распределение скоростей по сечению камер данного отстойника. Худшим решением было бы осуществление поворота потока изгибом самих камер, как это сделано в отстойнике Дзоргетской гидроустановки (рис. 108).

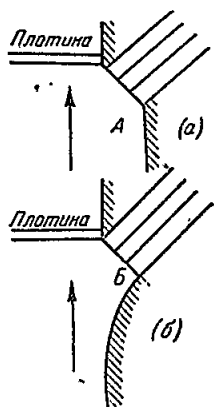


Рис. 95. Схемы расположения отстойника.

Идея самостоятельного питания отдельных камер или групп их получила дальнейшее своё развитие в компановке головного узла Всеамериканского канала (рис. 75).

3. Отстойник на берегу с аванкамерой впереди. Здесь, следует также отметить некоторые особенности конструктивного разрешения схемы компановки.

а) Отстойник с распределительной камерой, по типу водозабора гидроустановки Керстелен (рис. 64). Здесь регулятор отделён от отстойника. Вход сужен до возможно минимальных пределов. Аванкамера сужается по мере изъятия из неё расхода воды в отдельные камеры с таким расчётом, чтобы скорость в ней была постоянной и достаточной для проноса наносов в отстойник. Так как всё же в начале аванкамеры можно ожидать выпадения гальки, которая в паводок может проникнуть сюда, то непосредственно за входом устроена гравилеловка с промывкой. При отсутствии гальки можно гравилеловку и не устраивать.

Схема обеспечивает достаточное успокоение потока перед отстойником и постоянство условий входа, независимо от режима потока в реке. Кроме того, промывка аванкамеры не будет существенно отражаться на работе камер отстойника.

б) Отстойник с гравилеловкой впереди, по типу альпийского водозабора (рис. 13). Так как в паводок через гравилеловку здесь идёт непрерывный ток воды в сброс для смыва гальки, то условия забора воды из неё неблагоприятны. Поэтому отстойник в данной схеме относится на некоторое расстояние от входа для успокоения потока.

Большие касательные скорости в гравилеловке по отношению к входу в канал обуславливают острый угол отвода его.

в) Отстойник, с успокоительной аванкамерой, устраняющей неблагоприятное действие больших касательных скоростей при входе в отстойник, по типу водозабора Аджарис-Цхальской гидроустановки (рис. 128). Так как успокоительная камера может забиваться галькой, то она устроена с промывником. Промывка аванкамеры в этой схеме будет отрицательно влиять на работу отстойника. Детально эта схема рассмотрена особо (см. описание в главе XI).

Компановка самих отстойников рассмотрена нами достаточно детально выше, при описании составных элементов их.

Здесь следует ещё остановиться на соединении многокамерного отстойника с каналом при расположении его на деривации.

Лучшие условия входа получаются при совмещении оси отстойника с осью канала (рис. 62, 114). Но недостатком такого соединения отстойника с каналом является аванкамера с малыми скоростями и неравномерным распределением расхода воды по ширине её. Для устранения этого недостатка дно аванкамеры можно поднимать с приближением к отстойнику, сохраняя необходимую скорость.

Хорошим средством для равномерного распределения расхода воды по большой ширине отстойника является водослив с небольшим перепадом горизонтов воды.

Опыты показывают, что добиться равномерного распределения расхода воды по ширине аванкамеры можно путём устройства выгнутого вверх дна в поперечном разрезе (рис. 96). Форма дна подбирается опытным путём на модели.

В этом отношении заслуживает внимания двускатный и шатровой струераспределители, идея которых может быть использована и в данном случае (19).

Другая возможная схема соединения отстойника с каналом показана на рисунке 10. Она имеет известный недостаток, заключающийся в резком изменении направления потока при входе из распределительной аванкамеры в отстойник. Но при достаточно остром угле между осями канала и отстойника этот недостаток может быть в значительной степени ослаблен.

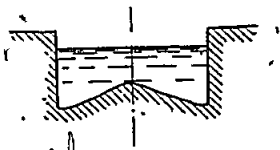


Рис. 96. Разрез подводящей аванкамеры перед отстойником.

ЧАСТЬ II

ОПЫТ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТСТОЙНЫХ БАССЕЙНОВ

При широко развернувшемся в нашем Союзе гидротехническом строительстве в области ирригации и гидросиловых установок необходимо непрерывное наблюдение за построенными сооружениями с целью корректировки и рационализации их. Особенно это важно в отношении водозаборных узлов на реках, несущих значительное количество наносов, поскольку мероприятия по борьбе с наносами являются решающими при выборе состава сооружений в узлах и их конструкций.

Отстойные бассейны являются в таких случаях почти неотъемлемой частью водозаборов, как это можно установить из ряда строительства в орошаемых районах.

От работы отстойных бассейнов и правильности их эксплуатации зависят в значительной степени и условия эксплуатации всего предприятия. Поэтому ниже, на опыте строительства и эксплуатации ряда водозаборных устройств с отстойниками (преимущественно союзных), попытаемся сделать выводы для дальнейшего использования их при проектировке и эксплуатации.

Рассмотрим сначала условия работы и конструкции отстойных бассейнов по отдельным объектам.

Глава VIII

ОДНОКАМЕРНЫЕ ОТСТОЙНИКИ С ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПРОМЫВКОЙ

МАЛОКАБАРДИНСКАЯ ОРОСИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Узел головных сооружений Малокабардинской оросительной системы расположен на реке Терек. В состав узла входит водосливная плотина высотой в 2,6 м и длиной в 288,5 м, водоприёмник, отстойный бассейн и промывные устройства (рис. 97).

Питание Терека, как горной реки, в основном, происходит за счёт таяния снегов и ледников Кавказского хребта.

Для створа головных сооружений водосборный бассейн реки Терека равен, примерно, 9000 км^2 при среднем годовом расходе в $100 \text{ м}^3/\text{сек.}$ ($Q_{\min}=40,0 \text{ м}^3/\text{сек.}$; $Q_{\max}=1\,500 \text{ м}^3/\text{сек.}$) и среднегодовой мутности в $1 \text{ кг}/\text{м}^3$.

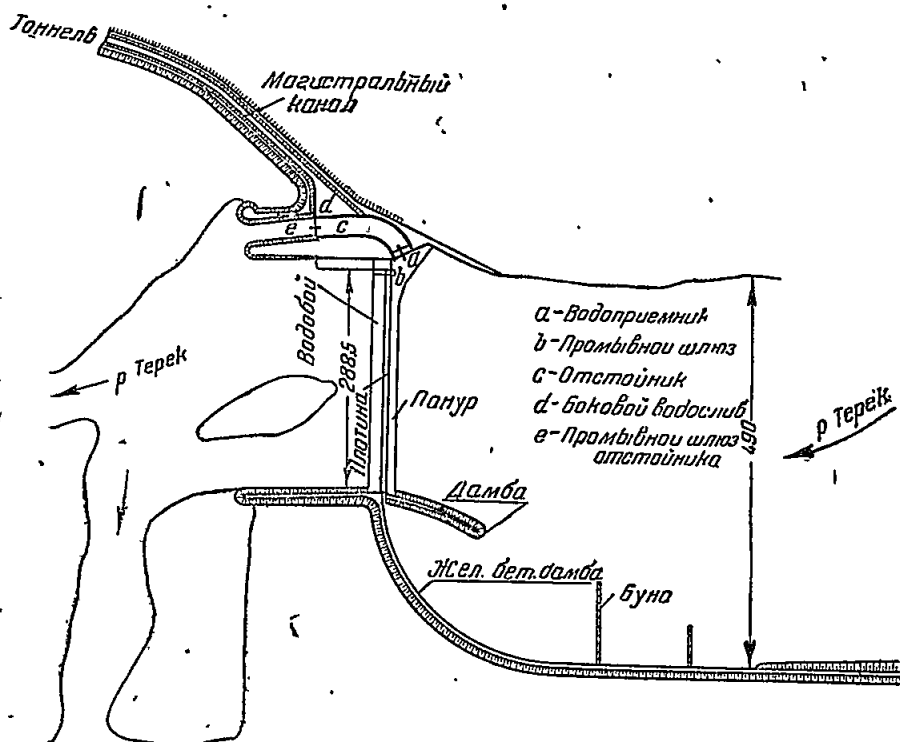


Рис. 97. Головной узел Малокабардинской оросительной системы.

Возведение, хотя и небольшой высоты, плотины на Тереке вызвало образование подпора, длина которого вверх распространяется, примерно, на 3 км. Ширина бьефа 500 и больше м. Во избежание затопления левого, наиболее пологого берега, начиная от плотины и до полотна Северокавказской железной дороги (примерно, на 1,5 км), строительством возведена земляная дамба. Поток, влекущий большое количество взвешенных и донных наносов при созданных, таким образом, условиях, должен вызвать заиление водохранилища.

Исследованиями Ленинградского научно-исследовательского института гидротехники установлено, что заиление, в основном, происходит за счёт донных наносов, которые, главным образом, отлагаются перед плотинной. Занесение верхнего бьефа происходит настолько интенсивно, что роль водохранилища, как бассейна для осаждения наносов, сводится почти к нулю.

Количество и фракционный состав донных наносов реки Терек (по данным экспедиций) в 1929 г. был следующий: при расходе воды в $190 \text{ м}^3/\text{сек.}$ и средней скорости потока $V_{\text{ср}} = 1,59 \text{ м/сек.}$ расход донных наносов (по замеру батометрами) $1,88 \text{ кг/сек.}$, или 15 т (в сутки). Есть все основания полагать, что действительный расход донных наносов будет в значительной степени превышать указанные цифры.

Преобладающими фракциями донных наносов являются фракции $0,20\text{--}0,50 \text{ мм}$ и $0,50\text{--}1,0 \text{ мм}$. В отдельных случаях диаметр уловленных батометром фракций достигал 10 мм .

По дну реки, несомненно, движется и крупная галька. Количество взвешенных наносов находится в зависимости от расхода воды и средней скорости потока и характеризуется следующими данными.

Расход реки Терека ($\text{м}^3/\text{сек.}$)	226	213
Средняя скорость потока (м/сек.)	1,68	1,60
Количество взвешенных наносов (кг/сек.)	360	263

Преобладающими фракциями взвешенных наносов являются фракции $0,15\text{--}0,30 \text{ мм}$ и ниже.

Условия работы водоприёмника и зона действия промывного плюза плотины

Водоприёмник головного уэла Малокабардинской оросительной системы состоит из двух отверстий шириною по 10 м с расположением под углом в 120° к оси водосливной плотины (рис. 98).

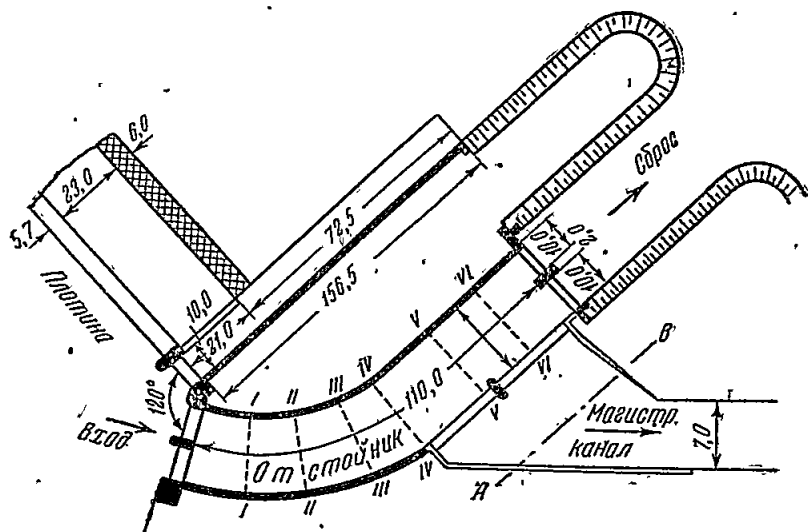


Рис. 98. Схема головного уэла Малокабардинской оросительной системы.

Водоприёмные сооружения, расположенные в самой реке, совершенно естественно, создают некоторое препятствие движению основного потока в части реки, прилегающей к водоприёмнику (от устья плотины до берега), где в результате замедленного движения образовалась мёртвая зона.

Отверстия водоприёмника перекрыты плоскими щитами системы Стоinea. Забор воды в отстойник производится из-под щитов.

Вопрос занесения отстойного бассейна донными наносами тесно связан с величиной относительного забора воды в водоприёмник. При малом относительном заборе воды, а значит и малом открытии щитовых отверстий, донные наносы для отстойного бассейна не представляют никакой опасности.

Совершенно другая картина будет в том случае, когда относительный забор воды велик; это чаще всего бывает в момент промывки отстойного бассейна. Если при промывке полностью открыть щитовые отверстия водоприёмника, то пропускаемый расход воды будет равен $53,2 \text{ м}^3/\text{сек.}$, а минимальный расход Терека падает до $40—50 \text{ м}^3/\text{сек.}$ В таких условиях опасность занесения водоприёмника донными наносами сильно возрастает с увеличением относительного забора воды.

В целях борьбы с попаданием донных наносов в водоприёмник отметка дна последнего устроена на $1,4 \text{ м}$ выше отметки дна верхнего бьефа. Промывка наносов, отложившихся у порога водоприёмника, производится через донное промывное отверстие шириною в 10 м (промывной шлюз), устроенное в правом конце водосливной плотины и примыкающее к водоприёмнику.

Эффективность работы промывного шлюза характеризуется следующими результатами промывки. После, примерно, 20 часов работы промывного шлюза, пропускавшего при разности горизонтов верхнего и нижнего бьефов в $1,47 \text{ м}$ расход воды $71,0 \text{ м}^3/\text{сек.}$ и при заборе воды в водоприёмник $3—4 \text{ м}^3/\text{сек.}$, была произведена повторная нивелировка дна. Бытовое русло реки Терека до возведения плотины делилось как бы на два основных протока: правый и левый. Направление оси промывного шлюза совпадает с осью правого протока; это совпадение осей приводит к тому, что при открытии отверстий промывного шлюза основной поток воды сосредоточивается именно в правом протоке, как наиболее глубокой части. Работа потока на этом участке даёт наибольший эффект.

Доминирующими фракциями осевших перед щитовыми отверстиями водоприёмника и шлюза наносов являются фракции $0,2—0,05 \text{ мм.}$ Исследования показали, что в период работы промывного шлюза промыв отложившихся наносов происходит настолько интенсивно, что поток, вымыв узкую подводную траншею, производит непрерывные обвалы отложений, целые массивы которых увлекаются потоком в промывное отверстие. Влияние промыва, как показывает повторная нивелировка, значительно сказывается ещё на расстоянии ста с лишним метров от оси плотины, но вместе с тем промыв, вызвав движение отложившихся в водохранилище наносов, придвинул их ближе к порогу и тем самым ещё более ухудшил его работу. Очевидно, длительность промывки бьефа была недостаточна.

В районе правого устья водоприёмника при промывке образуется слабо поворотная область с обратным течением, что, вероятно, и обуславливает намыв наносов в этом месте.

Работа отстойника и его промывные свойства

Как выше указывалось, одной из составных частей головного устья сооружений Малокабардинской оросительной системы является однокамерный отстойный бассейн, расположенный у правого берега реки Терека. В поперечном разрезе отстойник имеет вид коробки, с почти вертикальными стенками, с шириною по дну в 22 м и длиною по оси, примерно, в 110 м. В плане в головной части отстойник имеет криволинейное очертание с вогнутой правой и выпуклой левой стенками (рис. 98).

Для удаления осевших наносов при промывке отстойника в конце последнего устроены два промывных отверстия без порога, ширина каждого из них в свету равна 10,0 м. Отверстия разделены между собой бычком шириною в 2 м и перекрыты, как и верхние, двумя плоскими щитами системы Стоней.

Забор воды в магистральный канал оросительной системы производится из верхних слоёв отстойника через боковой водослив, устроенный непосредственно за вогнутой частью правой стенки бассейна. Водослив, имея общую длину сливной стенки в 40 м, состоит из 16 отдельных, перекрытых плоскими щитами, водосливов шириною по 2,50 м и является регулятором расхода воды магистрального канала. Вода в магистральный канал забирается из верхних слоёв отстойника, путём свободного перелива через верх щитов.

Одновременная нивелировка всех шести поперечников до и после 8-суточной работы отстойника (перед исследованиями отстойный бассейн был промыт) показала следующие результаты: за 8 суток работы отстойник пропустил, примерно, 2 000 000 м³ воды и отложил 771 м³ наносов. Это значит, что на 1 м³ расхода воды, пропущенного через отстойник, приходится 0,3855 л осевших наносов или при среднем объёмном весе отложений $\gamma_1 = 1,385$ г/см³ и средней влагёмкости их 43,8% величина осевших наносов в весовых единицах будет равна 0,534 кг/м³. В среднем за час осаждалось, примерно; 4 м³. Средний расход воды, проходящей через отстойник в течение восьми суток, был, примерно, 2—4 м³/сек., средняя глубина воды в отстойнике при рабочем горизонте равна 2,24 м. При средней мутности воды Терека и поступающей в отстойник в течение восьми суток 1,05 кг/м³ коэффициент осветления воды отстойником оказался равным

$$\frac{0,534}{1,05} = 0,508.$$

На рисунке 99 показаны два графика средних мутностей: один — реки Терека перед плотиной, а другой — в голове магистрального канала. Графики построены в порядке возрастания мутности реки Терека, не хронологически, и при почти постоянном расходе воды в отстойном бассейне. Из приведённых кривых видно, что коэффициент осветления воды — величина переменная и при прочих равных условиях он в общем возрастает с увеличением мутности реки Терека.

Характер отложения наносов по длине отстойника за время его 8-суточной работы показан на рисунке 100.

Из чертежа видно, что максимальное отложение взвешенных частиц происходит в начале отстойника, с постепенным уменьшением к концу. Фракционный анализ отложившихся наносов по длине отстойника показал правильное размещение фракций: более крупные — в начале отстойника и постепенное уменьшение крупности и увеличение содержания мелких фракций к концу.

Средняя мутность оказалась в конце отстойного бассейна больше, чем в поступающей воде из Терека, как это видно из таблицы, составленной по данным экспедиции НИИГ за сентябрь 1929 г.

Место взятия пробы	Мутность (г/л)
Терек на расстоянии 58,7 м от плотины	0,27
Перед шитами шлюза-регулятора	0,25
Голова отстойного бассейна	0,30
Начало бокового водослива	0,41
Конец отстойника	0,43
Голова магистрального канала	0,21

Это увеличение мутности к концу отстойника объясняется тем, что нижние слои насыщаются наносами со стороны вышележащих слоёв. Поскольку придонные слои имеют значительно меньшие скорости, — они представляют почти стоячую воду, — то в них и происходит накопление наносов.

Донные слои оказываются настолько насыщенными наносами, что пробы воды имеют вид кашеобразной массы. За счёт скопления наносов в нижних слоях и происходит повышение средней мутности.

Чем больший процент мелких фракций в поступающем потоке, тем максимальная насыщенность потока будет находиться дальше от входа.

Распределение скоростей потока по живому сечению бассейна чрезвычайно неравномерно. Так, у вогнутой правой стенки, начиная от шлюза-регулятора и до бокового водослива

(створ № 4), наблюдается значительное превышение скоростей ($V=0,36$ м/сек. при $Q \approx 3,0$ м³/сек.) над скоростями у левого выпуклого берега, где наименьшие донные скорости падают до 0,03 м/сек.

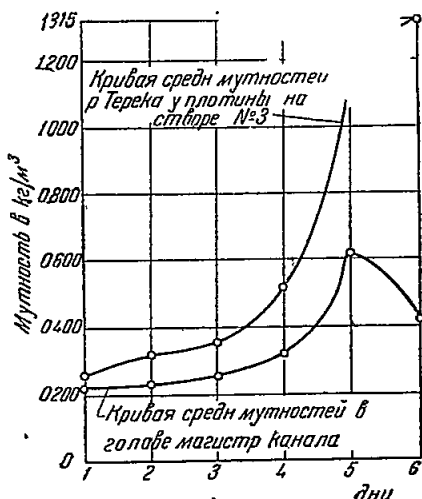


Рис. 99. Кривые мутности воды реки Терека у плотины и в голове магистрального канала.

Наличие малых скоростей вдоль левой выпуклой стенки и некоторого поперечного уклона вызвало в этом месте более интенсивное отложение взвешенных наносов. Вследствие кривизны бассейна промывка наносов из этой зоны затруднена. Неравномерность распределения скоростей по живому сечению и наличие непромываемой зоны ведут к ухудшению условий отложения наносов. Неравномерность распределения скоростей следует объяснить криволинейным очертанием отстойника в плане, а также влиянием бокового забора воды в магистральный канал.

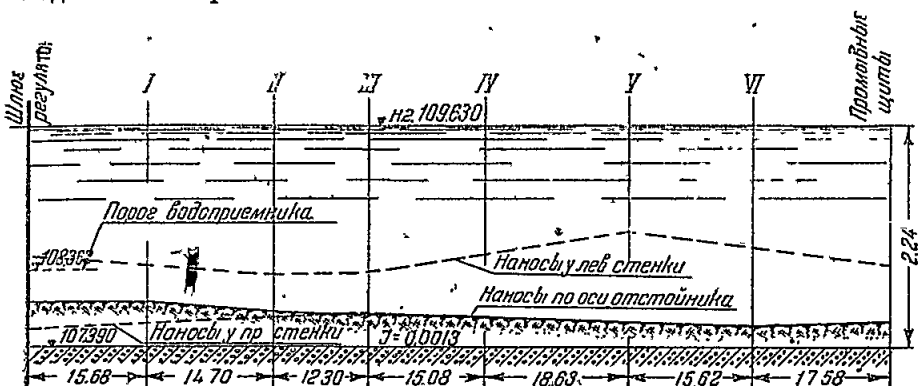


Рис. 100. Продольные профили отложений в отстойнике за 8 суток

Опыт промывки отложившихся наносов в отстойнике показал, что при полном открытии двух щитов регулятора и двух щитов промывного шлюза промывка продолжалась 20 час. 15 мин. Перед промывкой отметка воды в верхнем бьефе была¹ 109,977 м, в нижнем бьефе 107,994 м, а отметка порога шлюза регулятора 108,362 м, т. е. процесс промывки отстойника происходил без подтопления порога шлюза регулятора со стороны нижнего бьефа.

При открытии щитов регулятора в отстойнике образуется отогнанный прыжок, длина отгона колеблется в зависимости от величины открытия щитов и степени удаления наносов. Так, при полном открытии щитов, когда расход воды достигал 53,2 м³/сек., длина отгона прыжка была 16—17 м, а скорость в этих пределах равнялась 4—5 м/сек. Эффективность промывки в этом месте достигала наибольших пределов. Скорости по сечению при промывке так же, как и при нормальной работе отстойника, были у правой стенки больше, чем у левой. Выравнивание скоростей можно наблюдать только на гидрометрическом створе отводящего канала, расположенного на 50 м ниже промывного шлюза отстойника.

При процессе размыва отложившихся наносов в отстойном бассейне можно было наблюдать следующую гидравлическую картину: вырывавшаяся из-под щитов сильная струя потока наподобие гидро-

¹ Отметки условные.

монитора с силой бьёт в упор по отложившимся наносам, и видно, как поток не только насыщается наносами, но влечёт за собою большие отдельные глыбы слежавшихся наносов. Наносы из отстойника попадают в промывной канал, а уже из него в нижний бьеф. Наблюдающееся уменьшение скоростей в промывном канале, вызванное в результате некоторого его расширения, неизбежно привело к занесению его наносами. Величина занесения профиля канала достигает 6 м^2 , что от проектного профиля живого сечения при наполнении до отметки 108,079 м, соответствующей полному открытию щитов, составляет 18%.

ЗЕМО-АВЧАЛЬСКАЯ ГИДРОСТАНЦИЯ ИМ. ЛЕНИНА—ЗАГЭС

Плотина, необходимая для создания подпора и водохранилища для суточного регулирования, расположена в суженной части реки Куры, примерно, на 300—400 м ниже впадения реки Арагвы. Расширенная пойма реки Куры и примыкающее к ней широкое русло реки Арагвы дали возможность создать перед плотиной водохранилище объёмом в 12 млн. м^3 . Для регулирования служит верхний слой бассейна высотой в 1,75 м, дающий полезный объём в 3 млн/ м^3 . Плотина состоит из глухой водосливной (шугосброс), щитовой с высоким порогом и сифонной частей (рис. 101).

Высота плотины непостоянна и зависит от глубины залегания скалы; высота водослива щитовой части в самом глубоком месте русла достигает, примерно, 26 м. Каждое щитовое отверстие плотины при наивысшем рабочем горизонте может пропустить расход воды в 500 $\text{м}^3/\text{сек.}$, значит пропускная способность щитовой плотины равна 1500 $\text{м}^3/\text{сек.}$, что соответствует максимальной величине паводка, которая наблюдалась на реке Куре.

Пропускная способность сифонного водосброса равна 90 $\text{м}^3/\text{сек.}$, что соответствует меженнему расходу Куры. К правой стороне сифона непосредственно примыкает рыбоход.

В целях пропуска расхода воды реки Куры в период производства работ по плотине и для промывки отлагающихся наносов перед входом в водоприёмник, влево от плотины устроен так называемый прокоп (рис. 101), представляющий собою искусственно пробитое русло, глубина которого достигает 18,5 м, длина около 150 м и ширина по дну колеблется от 16,0 до 18,5 м. Для закрытия прокопа в нём устроена малая бетонная плотина, внизу которой имеется два донных отверстия шириной по 7,5 м и высотой в 7 м, с общей пропускной способностью, при высшем рабочем горизонте воды в водохранилище, в 900 $\text{м}^3/\text{сек.}$

Перекрываются отверстия двумя металлическими щитами системы Стоinea, высота которых равна 7,5 м и длина 8,50 м.

Подпёртая плотиной вода из водохранилища, прежде чем попасть в деривационный канал, проходит через водоприёмные сооружения, расположенные на левом берегу реки Куры.

Установленная мощность ЗАГЭСа первой очереди (пущенной в 1927 г.) равна 13 000 квт.

По окончании работ второй очереди Земо-Авчальская ГЭС имеет полную мощность в 37 000 квт, при расчётном расходе в 236 м³/сек. и расчётном напоре в 21,30 м при обеспеченности в средний гидрологический год в 105 дней.

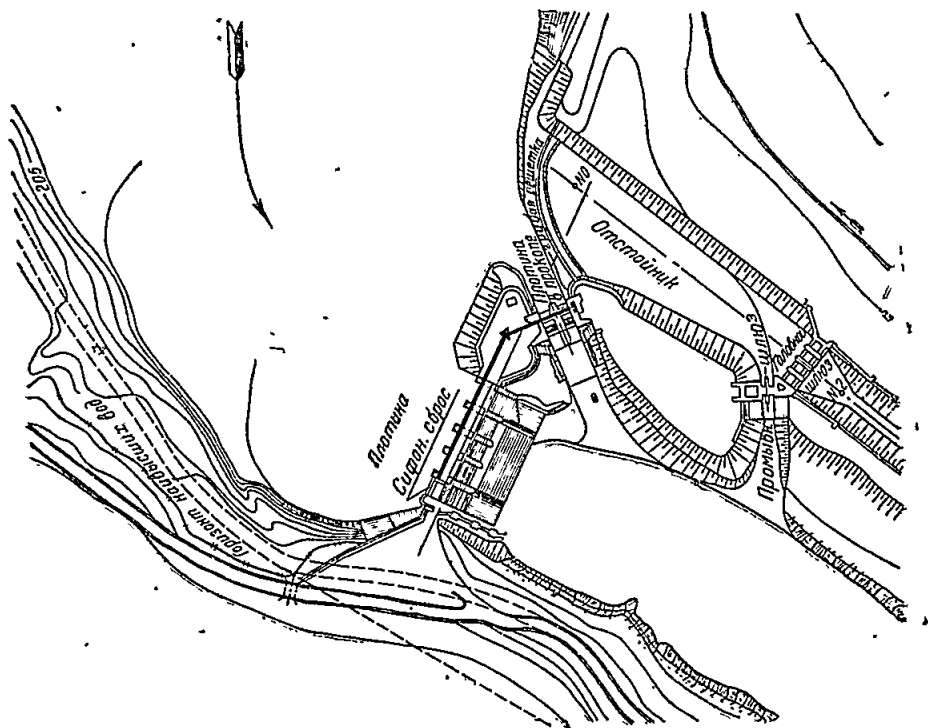


Рис. 101. Водозаборный узел Земо-Авчальской ГЭС.

Гидрологическая характеристика рек Куры и Арагвы

Площадь питающего водосборного бассейна реки Куры вместе с Арагвой до выбранного створа плотины равна 21 108 км². Из этой водосборной площади 87,1 % приходится на Куру и 12,9 % на Арагву. Водосборный бассейн Куры до впадения в неё Арагвы имеет среднюю годовую высоту осадков 566 мм и наибольшую 629 мм.

Водосборный бассейн реки Арагвы имеет среднюю годовую высоту осадков 900 мм и наибольшую 1 693 мм. Из приведённых цифр видно, что удельный сток Арагвы значительно больше удельного стока Куры. Кура, в противоположность Арагве, имеет свои истоки не в полосе вечных снегов и ледников Кавказского хребта, а в болотистом горном плато и большей своей частью проходит по узким каменистым ущельям среднегорной области.

В результате такого топографического различия бассейнов Кура летом имеет свой минимум, в то время как Арагва, вследствие летнего таяния снегов и ледников, несёт ещё значительное количество воды, а вместе с тем и значительно большее количество наносов. За 10 лет эксплуатации ГЭС сток Куры составлял 79%, Арагвы — 21% от общего их стока.

Подпорный участок, созданный плотиной, имеет следующие границы: вверх от плотины, по узкому каменистому ущелью реки Куры, он простирается на 8 км при естественном падении реки в 2,3 м на 1 км, а по широкой пойме реки Арагвы на 2 км при естественном падении в 6,4 м на 1 км.

Запирание верхнего бьефа

Плотина, совершенно естественно, вызвала ряд изменений в нормальном движении речного потока на участке подпора.

Нарушено обычное движение наносов, и участок реки в пределах кривой подпора стал заиляться.

При этом донные наносы начинают отлагаться в начале кривой подпора и затем медленно передвигаются вниз по течению; взвешенные же наносы отлагаются сравнительно равномерным слоем по всей длине водохранилища.

Характеристика взвешенных и донных наносов реки Куры на участке Дзегви—Мцхет видна из данных, полученных экспедицией НИИГ в 1930—1932 гг. (табл. 2а). Схема расположения гидрометрических створов показана на рисунке 102.

Таблица 2а

Гидрологический створ	Дата	Q м ³ /сек.	V _{ср.} м/сек.	Средняя мутность кг/м ³	Разделение по фракциям (%)			
					< 0,01	0,01— —0,05	0,05— —0,25	0,25— —0,50
Кура—Дзегви	23/VII 1930 г.	103	1,03	0,59	92	5	2	1
» »	7/VIII 1930 »	76	0,85	0,18	84	13	2	1
» »	14/VIII 1930 »	59	0,70	0,14	85	10	4	1
Кура—Мцхет	23/VII 1930 »	103	0,31	0,35	94	4	1	1

Максимальные мутности Куры по Дзегви 48,8 г/л. Донные наносы в среднем составляют 5,25% от взвешенных. Среднегодовой сток взвешенных наносов составляет 6 млн. т.

Как видим, Кура несёт во взвешенном состоянии преимущественно мельчайшие частицы (<0,01 мм). Из таблицы видно резкое падение средней скорости в пределах рассматриваемого участка.

Количество осаждаемых наносов характеризуется таблицей 2б.

Месяцы	Дни	Осаждение в кг на 1 м ³ воды	Валовое осаждение за сутки (т)	Месяцы	Дни	Осаждение в кг на 1 м ³ воды	Валовое осаждение за сутки (т)
1	2	3	4	1	2	3	4
Июль	19	1,494	15 100	Август	4	0,833	8 100
	20	0,53	1 490		5	0,981	9 810
	21	0,122	1 320		6	0,016	116
	22	0,24	2 360		7	—	—
	23	0,238	2 560		8	0,075	494
	24	0,342	2 900		9	—	—
	25	0,68	7 200		10	0,607	3 670
	26	0,725	8 050		11	0,044	266
	27	0,067	614		12	0,047	254
	28	0,059	475		13	0,089	500
	29	0,16	1 350		14	взвешивание	—
	30	0,26	2 270		15	0,107	590
	31	0,359	2 900		16	0,085	462
Август	1	0,036	264		17	0	—
	2	0,046	342		18	0,068	376
	3	0,484	4 600				

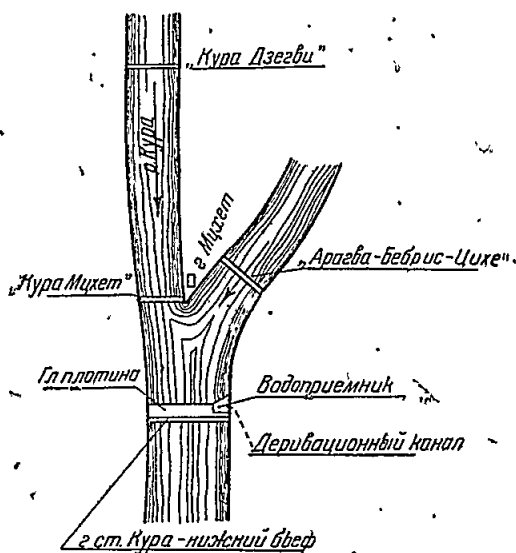


Рис. 102. Схема расположения гидрометрических створов.

В результате проведенных исследований рассматриваемого участка экспедиция пришла к следующим выводам: 1) с увеличением расхода воды реки Куры увеличивается осаждение наносов, 2) чем больше насыщение потока наносами, тем больше их процент осаждения, 3) со спадом расхода воды заиление уменьшается, 4) при этом колебание величины заиления участка значительно превосходит колебание расхода воды.

Колебание горизонта воды у плотины также оказывает свое влияние на процесс осаждения наносов: с понижением горизонта воды заиление уменьшается и, наоборот, с повышением увеличивается.

Касаясь количественной стороны осаждения взвешенных наносов на рассматриваемом участке за месячный период исследований

(с 19 июля по 19 августа 1930 г.), можно привести следующие данные: средний процент осаждения наносов равен 43%; вес абсолютно сухого наноса 81 385 т, что, примерно, соответствует 49 800 м³; тогда при средней ширине Куры около 80 м и длине рассматриваемого участка в 6,50 км высота условного равномерного слоя осевших наносов равна 0,11 м. Но в силу того, что из общей массы осаждающихся наносов больший процент составляют фракции меньше 0,01 мм, которые осаждаются, главным образом, во второй половине рассматриваемого участка; т. е. ближе к плотине, толщина слоя отложившихся наносов во второй половине участка равна не 0,11 м, а, примерно, в полтора раза больше, т. е. 0,16 м.

Что касается донных наносов, то характер их передвижения в подпорном участке реки Куры представляется в следующем виде. Передвижение донных наносов, главным образом, происходит в период прохождения паводков. От селения Дзегви и до лесопильного завода (отстоящего от плотины на 3,5 км), т. е. участок длиною, примерно, в 4,5 км, гряда донных наносов прошла в течение шести лет со средней скоростью в 750 м в год.

Прошедшие паводки 1931 и 1932 гг. эту гряду продвинули вниз по течению ещё на 1 км. Гряда донных наносов вверх по течению имеет медленный подъём, асимптотически приближаясь к естественному руслу реки у начала кривой подпора, а вниз по течению, наоборот, имеет крутой склон: на длине около 150 м превышение наивысшей точки гряды донных наносов над наинизшей точкой подшошвы достигает 12 м.

Исходя из средней мощности донной гряды и скорости её передвижения, годовой сток донных наносов реки Куры может быть, примерно, определён в 75 000 м³. По данным же инж. Гвелеспани (22), они в среднем составляют ≈ 200.000 м³.

Что касается фракционного состава гряды донных наносов, то их крупность возрастает от гребня гряды к началу кривой подпора; так, наряду с крупным песком, заполняющим промежутки между гравием на вершине гряды, встречающийся гравий имеет размеры в 2—3 см, тогда как у начала кривой подпора крупность его доходит до 15—20 см.

Характеристика взвешенных и донных наносов реки Арагвы

С целью определения изменения средней мутности потока в самом водохранилище ЗАГЭС экспедицией НИИГ 1930 г. брались пробы воды одновременно на трёх створах: Кура-Мцхет, Арагва-Бебрис-Цихе и Кура-Нижний бьеф (рис. 102). Характер взвешенных наносов на створах Арагва-Бебрис-Цихе и Кура-Нижний бьеф виден из таблицы 2в.

При сравнении этих мутностей видно, что река Арагва имеет большую мутность и процент крупных частиц в ней больше, чем в Куре. Но средняя мутность, по многолетним наблюдениям, обеих рек почти одинакова и равна 0,73 г/л по Куре и 0,74 г/л по Арагве. Максимальная мутность Арагвы 36,8 г/л, несколько ниже, чем Куры.

Таблица 2в

Гидрометри- ческий створ	Дата	Q м³/сек.	V _{ср} м/сек.	Средняя мутность (кг/м³)	Разделение по фракциям (%)			
					<0,01	0,01— —0,05	0,05— —0,25	0,25— —0,50
Арагва-Бебрис-Цихе Кура-Нижний бьеф	26/VII							
	1930 г.	47	1,17	1,60	75	16	6	3
	7/VIII	42	1,40	0,39	74	12	10	4
	14/VIII	34	0,99	0,15	66	18	10	5
	8/VIII	80	0,90	0,49	81	7,6	10,4	1

Среднегодовой сток взвешенных наносов составляет 4,2 млн. т. Донные наносы составляют в среднем 32,4% взвешенных.

Что касается движения донных наносов по Арагве на подпорном участке, то здесь следует указать, что, начиная от створа Бебрис-Цихе и до устья, пойма Арагвы сплошь занесена наносами. Благодаря чрезвычайно большой ширине поймы Арагвы, ярко выраженной головы гряды донных отложений, как это мы видим на Кура, здесь нет. Эта распластанность донных наносов не даёт возможности более или менее точно определить скорость их передвижения к устью. Ориентировочно эта скорость может быть определена в 300 м/год.

Донные наносы Арагвы находятся значительно ближе к слиянию рек, чем наносы Куры. И несмотря на то, что скорость передвижения донных наносов в Арагве меньше, чем в Кура, есть все основания полагать, что к головным сооружениям ЗАГЭС наносы Арагвы подойдут раньше, чем наносы Куры. По фракционному составу основная масса наносов представляет собой песок различной крупности и гальку, крупность которой возрастает от 2—3 см у устья до 20—30 см к началу кривой подпора. По данным инж. Гвелесиани (22), из общего стока донных наносов за 10 лет эксплуатации ЗАГЭС река Арагва даёт 62%, река Кура 38%.

Отложение наносов в районе головных сооружений ЗАГЭС

Проектный объём водохранилища равен 12 млн. м³, призмы суточного регулирования 3 млн. м³. К 1932 г. водохранилище занесено наносами уже, примерно, на 60%, а призма суточного регулирования уменьшена на 30%. По данным инж. Гвелесиани до 1936 г. включительно водохранилище оказалось заиленным на 75% от общего объёма и призмы суточного регулирования — на 48% от первоначального её объёма. При этом отложения взвешенных наносов составляют 64%, а донных—36% от общего объёма заиления.

Из сопоставления величины средней мутности потока ниже плотин—створ Кура-Нижний бьеф, с мутностями на створах Кура-Мцхет и Арагва-Бебрис-Цихе видим, что средняя мутность ниже плотин больше таковой на указанных створах и, конечно, больше

средней мутности непосредственно перед плотиной, через которую почти в течение всего года происходит промыв отложившихся перед ней наносов.

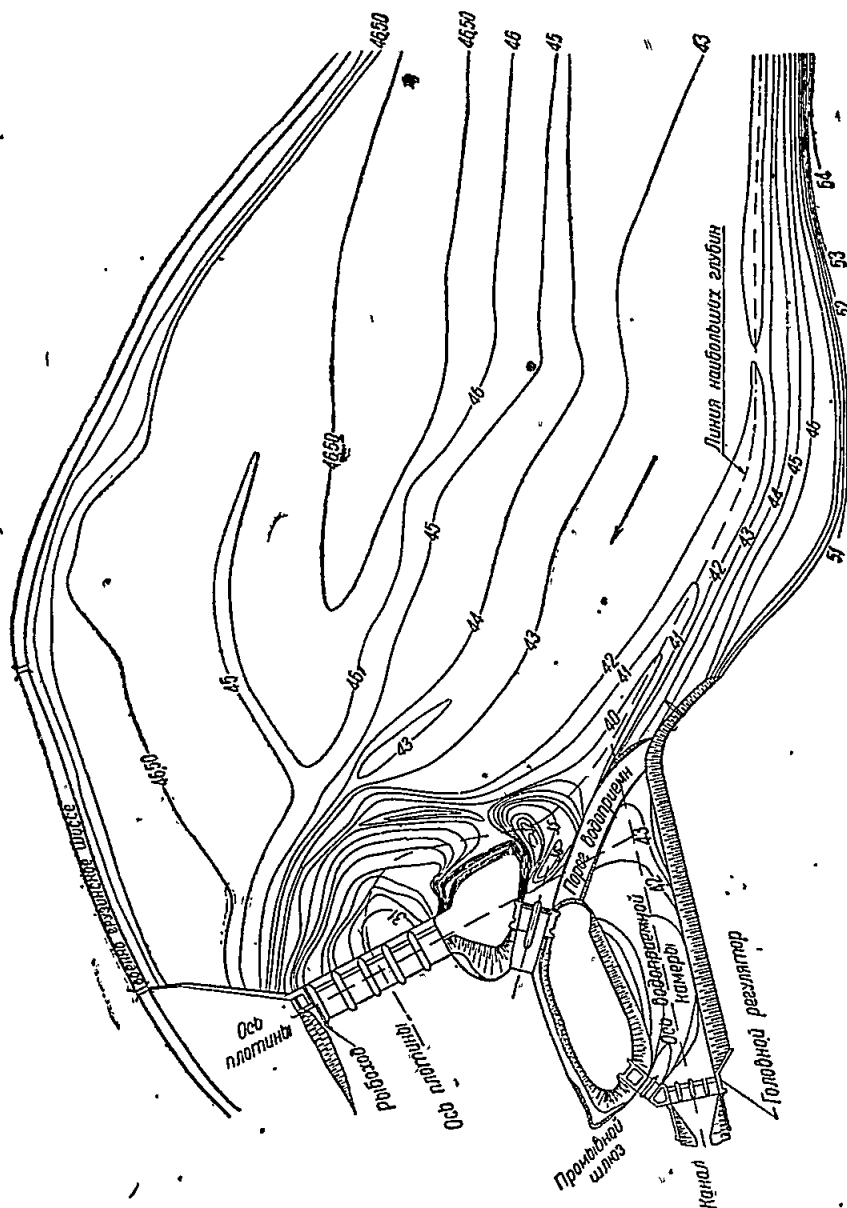


Рис. 103. Характер поверхности отложений вблизи водозаборного узла.

Результат промывного действия щитов плотины хорошо виден на рисунке 103. В местах максимального углубления русла, а это соответствует месту расположения щитов плотины, глубина воды достигает 16—17 м.

Что же касается площади живых сечений, то у щитов главной плотины они в 2—3³ раза больше площади любого живого сечения русла выше водоприёмника, несмотря на то, что ширина русла здесь значительно больше ширины русла у плотины.

Подобная же картина характерного углубления русла наблюдается и перед прокопом.

Характер потока после слияния Куры и Арагвы, где сохраняется доминирующее влияние Куры, в плане имеет криволинейную форму с вогнутым левым берегом и выпуклым правым.

Криволинейность потока, совершенно естественно, привела к неравномерности распределения скоростей, а отсюда и к неравномерности отложения наносов в водохранилище (рис. 104). Основная масса наносов отложилась у правого выпуклого берега, где при повышенном горизонте образуются водоворотные воны с очень малыми скоростями течения.

Расположение и конструкция водоприёмника ЗАГЭС

Вода из водохранилища, прежде чем попасть в деривационный канал, проходит через водоприёмник, который в принятой схеме головных сооружений ЗАГЭС одновременно призван выполнять и функции отстойного бассейна.

Как выше указывалось, камера водоприёмника расположена у левого вогнутого берега, причём линия порога водоприёмника в плане имеет криволинейное очертание (рис. 101) и не совпадает с линией очертания берега. Ось водоприёмника с осью плотины составляет, примерно, угол в 76°, а с осью потока 40°.

В целях борьбы с попаданием донных наносов в деривацию и, вместе с тем, создания наиболее благоприятных условий забора воды из верхних слоёв водохранилища, камера водоприёмника отделена от верхнего бьефа порогом (отметка его постоянна и равна 43,11)¹, высота которого по отношению к дну верхнего бьефа переменна: у левого конца высота порога равна 8 м, а у щитов прокопа, примерно, 13 м. Длина входного порога 110 м. Отметка порога водоприёмника выше отметки гребня водослива плотины (40,52) на 2,59 м.

Высота слоя воды над порогом водоприёмника при пуске в эксплуатацию второй очереди строительства следующая:

при максимальном горизонте воды (47,52)	— 4,41 м
» минимальном » » (45,77)	— 2,66 »

Принятая отметка порога водоприёмника (43,11) имеет следующее обоснование.

Подпор, создаваемый возведённой плотиной, считая от максимального рабочего горизонта (47,52), при максимальном и минимальном бытовых горизонтах Куры у плотины, колеблется в пределах от 9,36 до 14,62 м. Если взять средний паводковый расход, считая

¹ Отметки условные.

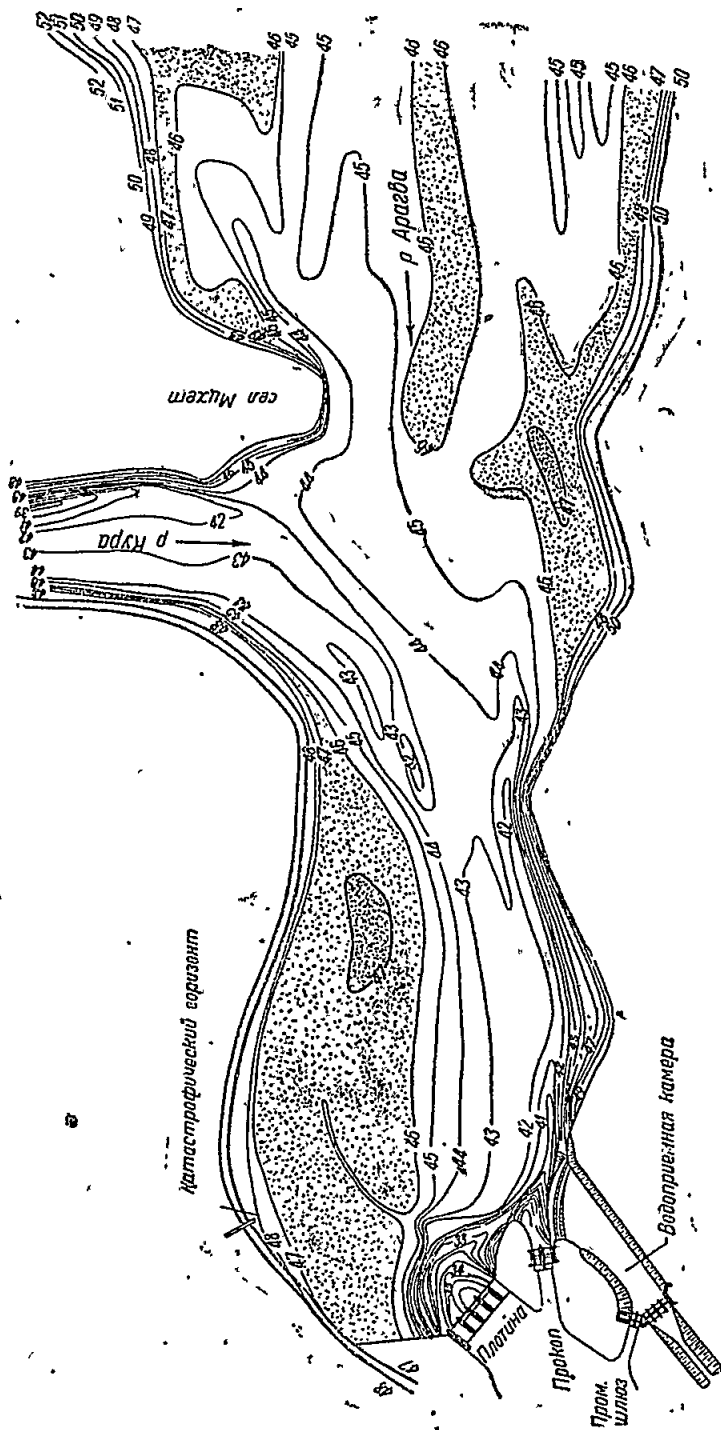


Рис. 104. Характер залегания верхнего бьефа Земо-Авчальской ГЭС.

его руслообразующим, то отметка его бытового горизонта у плотины будет 35 м.

При этом подпор, создаваемый плотиной, будет равен $H=47,52 - 35,0 = 12,52$ м. Полагая, что при полном занесении водохранилища наносами дно нового русла Курь должно подняться на величину, равную величине подпора, т. е. на 12,52 м, отметку порога следует принять выше дна именно на эту величину. Если за самую низкую отметку дна русла у водоприёмника принять отметку русла около прокопа (30,62), то минимальная отметка порога (в районе прокопа) без превышения будущего дна над ней будет равна $30,62 + 12,52 = 43,14$, чему, примерно, и равна отметка возведённого порога водоприёмника.

Совершенно иная картина получается у левого борта водоприёмника. Здесь отметка дна естественного русла равна 35 и совпадает с отметкой горизонта воды принятого среднего паводкового расхода.

Если исходить из отметки русла 35, то отметка порога водоприёмника должна бы быть равна $35,0 + 12,52 = 47,52$.

Следовательно, принятая отметка порога водоприёмника здесь недостаточна.

Чтобы предотвратить попадание крупных плавающих тел в водоприёмник, вдоль всего порога устроена грубая решётка из рельсов с просветами в 0,5 м.

Водоприёмник в плане по направлению к каналу сужается (рис. 101). Длина отстойника также переменна: по правому берегу она равна 126 м, а по левому 196,5 м. Поперечное сечение трапециoidalное, откосы полуторные. Дно отстойника имеет продольный уклон, равный 0,024.

Чтобы избежать размыва и фильтрации, дно и откосы отстойника покрыты слоем бетонной одежды толщиной в 0,30 м. Забор воды из отстойника в деривационный канал происходит через головной регулятор в конце отстойника путём выпуска воды через донные отверстия.

Отметка порога регулятора 40,97. Регулятор имеет 4 донных отверстия высотой в 4,69 м и шириною в 5,76 м, перекрываемые металлическими щитами.

Перед входом в головной регулятор устроен криволинейный порог переменной высоты от 1 до 3,0 м, вследствие значительного уклона дна отстойника к промывному шлюзу.

Донный порог регулятора противодействует попаданию отложившихся в отстойнике наносов в деривационный канал и направляет их движение к двум донным промывным отверстиям, устроенным в конце отстойника.

Ось донных промывных отверстий с осью водоприёмника составляет угол 50° .

Размер отверстий промывного шлюза $3,20 \times 4,7$. Отметка дна перед входом в промывные отверстия 37,39 м. Таким образом, по длине отстойника общее падение дна будет равно 4,76 м. Такой большой уклон дна отстойника облегчает движение отложившихся наносов к промывному шлюзу.

Отложение и промыв наносов в районе порога водоприёмника

Характер отложений наносов вдоль порога водоприёмника показан на рисунке 103.

Исследование (недостаточное в силу малых расходов реки Куры) промывного действия отверстий прокопа было проведено экспедицией НИИГ в сентябре 1932 г. Промыв производился путём открытия на различную высоту правого щита прокопа. Условия, при которых происходил промыв отложившихся наносов, и качественная характеристика промыва показаны в таблице 3.

Т а б л и ц а 3

Характеризующие условия промыва прокопом

№ п/п,	Дата и час взятия проб	Открытие щита (м)	Горизонт воды перед плотой от	Продолжитель- ность промыва (в часах)	Расход воды на промыв (м³/сек.)	Мутность воды в верхнем бьефе (кг/м³)	Мутность воды в нижнем бьефе прокопа (кг/м³)	Механический состав наносов по методу Сабанина (в %)			
								0,5 — 0,15	0,15 — 0,05	0,05 — 0,01	< 0,01
1	20/IX 1932 г. 10 часов — начало про- мыва	1,5	46,80	7	118,00	0,237	12,23	0,47 ¹ 0,50	5,36 56,56	10,82 10,77	83,34 15,17
2	20/IX 1932 г. 17 часов — конец промыва	1,5	45,00		113,00	0,237	0,35	—	—	—	—
3	20/IX 1932 г. .	1,0	45,00		75,00						
4	21/IX 1932 г. 16 часов	0,85	45,00	18	64,00	0,237	0,60	0,47 0,48	5,36 11,23	10,82 21,47	83,34 66,82

В момент открытия промывных щитов прокопа наблюдается максимальная мутность потока, величина которой (по данным таблицы 3), достигала 12,23 кг/м³. Если же сравнить величины мутностей верхнего и нижнего бьефов в последующее время промыва, то здесь разница между ними ничтожна. Это говорит о слабом промывном действии отверстий прокопа. По съёмке дна установлено, что полностью удалены наносы только непосредственно перед щитами на длину, примерно, в 5—6 м, по остальной же длине порога водоприёмника произошёл очень незначительный смыл наносов. Что касается скоростей в период промыва, то при самом низком рабочем горизонте (45,00) поверхностная скорость на расстоянии от плотины, примерно, 350 м не превышала 0,50 м/сек. Слабая эффективность действия прокопа объясняется малыми расходами в реке и

¹ Верхние цифры показывают механический состав наносов в верхнем бьефе, а нижние цифры — в нижнем бьефе. Пробы воды в верхнем бьефе брались на поперечнике 12.

невозможностью существенно снизить уровень воды в водохранилище. Опыты управления эксплуатации гидроустановки, проведённые позже, показывают, что при снижении уровня до отметки 41,20 м (в майские торжества 1935 г.) действие прокопа оказалось вполне удовлетворительным, и инж. Агнияшвили (4) рекомендует в дальнейшем чаще пользоваться прокопом и при возможности сильно снижать горизонт в водохранилище, вплоть до его опорожнения хотя бы один раз в год.

Как выше указывалось, водоприёмник расположен на левом, вогнутом, значит, удобном для водозабора берегу, но тот факт, что большой длины порог (110 м) имеет криволинейное очертание, не совпадающее с линией очертания берега, в значительной степени ухудшает условия промыва порога.

Характеристика работы отстойника

Отстойник ЗАГЭС, предназначенный для осаждения сравнительно крупных фракций (0,25—0,40 мм), имеет поперечное сечение переменное: в направлении к головному регулятору, с увеличением глубины, происходит сужение ширины зеркала. Разность глубин у начала и конца водоприёмника-отстойника достигает 4 м.

На основании исследований установлено, что распределение скоростей в отстойнике чрезвычайно неравномерно, и это нарушает его нормальную работу.

Неравномерность распределения скоростей вызывает и неравномерное осаждение наносов как по длине, так и по ширине отстойника. Это усугубляется ещё и тем, что через промывной шлюз происходит почти постоянный сброс воды, хотя и незначительный. В результате этого перед отверстиями промывного шлюза отстойника имеется значительное углубление дна, а на пороге в конце отстойника (перед головным регулятором) у левого берега происходит отложение взмучиваемых наносов, высота которых достигает 2 м.

Фракционный состав отлагающихся в отстойнике наносов характеризуется следующими данными.

Процентное содержание фракции 0,25,—0,50 мм в отложениях колеблется в пределах 30—83 %. В конце отстойника эта фракция почти во всех точках даёт наибольший процент. В начале отстойника наибольший процент дают фракции меньше 0,010 мм, в то время как в конце отстойника процентное содержание этой же фракции падает до 3%.

Значительно большее содержание крупных фракций в конце объясняется, очевидно, действием забора воды через регулятор и непрерывного сброса её в небольших размерах через промывной шлюз: мелкие фракции вымываются повышенными здесь донными скоростями, недостаточными для смыва крупных фракций. Кроме того, вследствие плохой промываемости отстойника, в нём остаётся значительное количество наносов, особенно в конце его, сильно стесняющих сечение и тем увеличивающих скорости течения в конечных сечениях. Это затрудняет отложение здесь мельчайших фракций наносов.

Таким образом, о качестве работы отстойника в отношении осаждения наносов можно сделать такие выводы:

1. Распределение скоростей в отстойнике чрезвычайно неравномерное: отклонения их от средней достигают 40% и выше, имеются мёртвые зоны.

2. При пуске второй очереди ГЭС скорости в отстойнике возрастают настолько, что не будет обеспечено выпадение вредных фракций наносов.

Промыв наносов из отстойника эксплуатацией производился один-два раза в год, обычно во время и после прохождения летних паводков (в июле). Вследствие такой редкой промывки камера заиливается на 40%, и средняя скорость в сечении достигает 0,5 м/сек., а на отдельных вертикалях 0,7 м/сек.

Перед июльским промывом 1932 г. наносы выступали из воды в ряде мест при отметке горизонта воды 45,20 м.

При промывке 2—8 июля 1932 г. удалось вымыть только до 50% осевших в камере наносов. Остальная часть наносов не могла быть удалена: для её промыва требовалось значительное снижение уровня воды в отстойнике.

Достаточно интенсивный смыв наносов получается при отметке горизонта в верхнем бьефе 45,50 м. В это время мутность воды в нижнем бьефе повышается до 4 кг/м³, против 0,4 кг/м³ при отметке горизонта воды 46,50 м.

Но понижение уровня в верхнем бьефе и в отстойнике сопряжено с понижением мощности ГЭС и не может быть допущено без согласования с графиком потребления энергии.

При промыве отстойника при сниженных горизонтах скорости в нём возрастают, и наносы начинают взмучиваться и проникать в значительном количестве в канал. Мутность в канале при отметке горизонта воды 45,50 м достигала 1,8 кг/м³ при промывке 13—15 сентября 1932 г.

Редкая промывка отстойника приводила к тому, что при заиливании его до 40% скорости возрастали и довольно крупные фракции наносов начинали проникать в канал, так как порог при входе в него бывает занесён полностью. В результате в канале были обнаружены отложения слоем до 0,9 м и крупностью до 0,4—0,75 мм.

В общем относительно промывки отстойника можно сделать такие выводы:

1. Гидравлический промыв основной массы наносов из отстойника возможен только при значительном снижении уровня верхнего бьефа, что влечёт полное или частичное выключение станции.

2. Наличие мёртвых зон в отстойнике, вследствие неправильной его формы в плане, не позволяет произвести полную очистку наносов: непромываемый объём наносов составляет до 10% от объёма камеры.

3. Большая продолжительность промыва (30—50 часов) обусловлена малой скоростью в отстойнике при промыве и, следовательно, малым расходом наносов. Это определяет и чрезвычайно низкую производительность 1 м³ промывной воды.

На основании рассмотрения результатов эксплуатации водозаборных устройств ЗАГЭС можно сделать такие выводы:

1. Чрезвычайно растянутый фронт водоприёмника, к тому же с криволинейным порогом в плане, создал трудные условия для промывки. Промывные устройства (прокоп) с колоссальным промывным расходом (до 900 м³/сек.) не может обеспечить смыва наносов по всей длине порога без существенного снижения уровня воды в верхнем бьефе.

Нам представляется, что даже при сильном снижении этого уровня промывка верхнего конца порога будет невозможна из-за его изогнутости в плане.

Плохая промываемость верхнего конца порога водоприёмника обуславливается также неудачным выбором угла между порогом и осью плотины ($> 90^\circ$).

2. Применение однокамерного отстойника при отсутствии возможности его выключения (нет щитов на входном пороге) обуславливает длительную промывку, малую производительность промывного расхода и усиленное завлечение наносов в канал при промывке. Снижение уровня воды в верхнем бьефе может несколько улучшить условия промывки отстойника, но обуславливает необходимость частичного или полного выключения ГЭС.

3. Заиливание верхнего бьефа, приведшее почти к полной ликвидации входного порога, неправильная компоновка узла, редкие промывки отстойника и невозможность выключения деривации при промывках его, а также неудачный отвод воды донными отверстиями обусловили проникание крупных фракций наносов (до 0,75 мм) в канал и даже в напорный бассейн.

4. В целях улучшения работы водозаборного узла в отношении борьбы с наносами необходимо:

а) производить периодическую очистку верхнего бьефа от наносов путём промывки их при сильном снижении уровня воды в нём;

б) промыв входного порога через прокоп производить со значительным снижением уровня в верхнем бьефе;

в) промывку отстойника производить чаще, не допуская сравнения порога в конце его при входе в деривацию;

г) перед промывкой отстойника производить предварительную промывку входного порога через прокоп, получая при этом необходимое для улучшения промывки отстойника снижение уровня в верхнем бьефе (до отметки 45,0—44,50 м).

КАНАЛ ФОРТ-ЛАРАМИ

Водораспределительная плотина Вален на реке Северная Платта высотой в 10,65 м и длиной в 91,3 м расположена непосредственно ниже крутого поворота (на 90°) реки вправо (рис. 105). На правом, выпуклом; берегу расположено головное сооружение канала Форт-Ларами (для орошения 43 250 га), на левом, вогнутом, — головное сооружение канала Интерстат (для орошения 52 600 га). Так как река Северная Платта несёт в течение всего вегетационного периода большое количество песка, как взвешенного, так и донного, то для удаления отложений его из верхнего бьефа в плотине устроены промыв-

ные плюзы без отдельных стенок, примыкающие непосредственно к головным сооружениям каналов.

Канал Интерстат никогда серьезно не страдал от наносов. Слабые отложения наносов, которые иногда имели место впереди регулятора этого канала, совсем прекратились после заделки 30-дюймовой трубы впереди входного порога, служащей для промывки наносов.

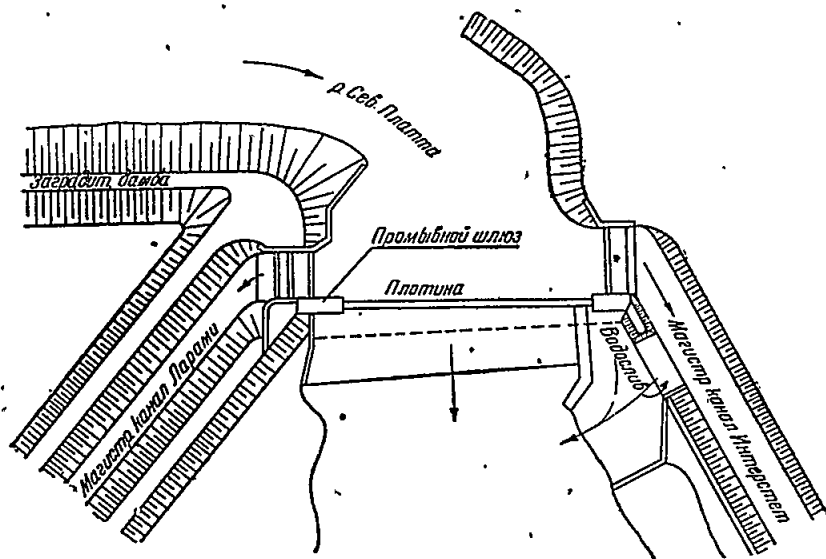


Рис. 105. Водозаборный узел каналов Форт-Ларами и Интерстат на реке Северной Платте.

Канал Форт-Ларами также не страдал сильно от наносов, пока забираемый расход воды был значительно меньше проектного. При достижении же проектного расхода канал стал сильно заноситься песком. Основной причиной этого является неудачное расположение головы канала на выпуклом берегу, где обычно происходят большие отложения наносов. С 1917 по 1924 г. безуспешно были испытаны различные методы борьбы с наносами в этом канале. Применение бетонных промывных труб впереди порога (как и в регуляторе канала Интерстат) также не принесло пользы, и голова канала быстро была занесена песком. Только после постройки большого отстойника на канале, недалеко от головы, он был предохранен от наносов.

Однокамерный отстойный бассейн (рис. 106) длиной 183 м и шириной 46 м был устроен несколько ниже головы канала для получения необходимого перепада, обеспечивающего удовлетворительные условия промывки отстойника. Отстойник рассчитан на расход в канале $42,3 \text{ м}^3/\text{сек}$. При отсутствии отложений наносов скорость в отстойнике при нормальном расходе достигает $0,38 \text{ м/сек}$. Отстойник, являясь продолжением канала, имеет в конце криволинейного в плане очертания водослив длиной 108 м, через который вода пере-

ливается дальше в канал. На гребне этого водослива могут быть установлены шандоры для регулирования расхода в канале и уровня в отстойнике. Длина водослива и высота шандор были запроектированы так; чтобы при промывке; когда образуется кривая спада, уровни воды в бассейне у водослива были ниже верхнего ребра шандор и взмученная вода не попадала в канал. Таким образом канал автоматически выключался на время промывки.

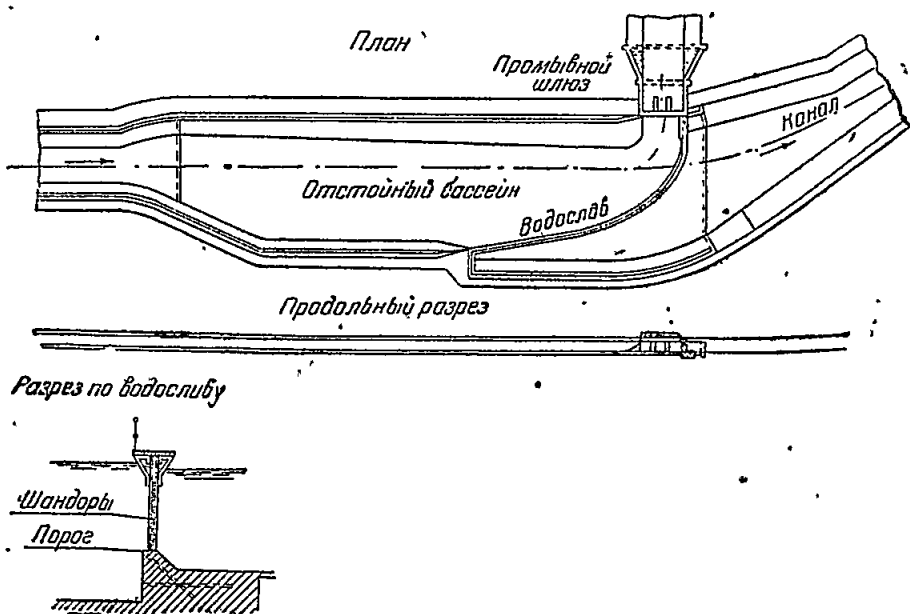


Рис. 106. Отстойный бассейн на канале Форт-Ларам.

Для промывки наносных отложений в конце отстойника устроено специальное промывное сооружение в левом борту его, непосредственно примыкающее к криволинейному водосливу, каковой и служит для направления потока в сброс. Промывное сооружение рассчитано на пропуск $56,4 \text{ м}^3/\text{сек.}$ при пониженном уровне в бассейне. При этом скорости в различных местах его по проекту должны достигать $1,5\text{--}5,0 \text{ м/сек.}$, наибольшие скорости—возле криволинейного водослива.

Время промывки принято в 45 минут по условиям, поставленным пригатацией. В эксплуатации оказалось достаточным производить промывку бассейна один раз в неделю, чтобы предотвратить попадание наносов в канал.

Поверхность отложений наносов обычно ниже на $1,40 \text{ м}$ рабочего гребня водослива.

Опыт промывки наносов показал, что она идет неравномерно по длине бассейна: наибольшее количество наносов удаляется из верхнего конца бассейна. Это обуславливается большой подходной

скоростью в бетонированном канале. Вообще же промывка идёт с двух концов бассейна в направлении к середине, особенно резко это проявляется в начальный период промывки. Результаты опытной промывки бассейна сведены в таблицу 4.

Т а б л и ц а 4

Дата	Длительность промывки (в мин.)	Промывной расход (м³/сек.)	Удалено грунта (м³)	Промывная способность (м³/мин.)	Длина очищенного от наносов участка вверх (м)
8/VI	45	127,5	6 500	144,5	{ 76,93 }
15/VI	45	68,0	5 910	131,0	
20/VI	45	70,7	3 960	88,0	
23/VI	30	82,0	3 200	107,0	

На промывную способность влияет подпор горизонта воды снизу в период высоких вод в реке, когда падение в сбросном канале значительно уменьшается.

Глава IX

ДВУХКАМЕРНЫЕ ОТСТОЙНИКИ С ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ПРОМЫВКОЙ

ДЗОРАГЕТ

Максимальный расход гидростанции принят равным 28,50 м³/сек. Годовой режим взвешенных наносов реки Дзорагет характеризуется двумя периодами; первый период—весенне-летний—время прохождения максимальных расходов (500 м³/сек.), характеризуется мутностью, доходящей в среднем до 11 кг/м³, а 14 июня 1932 г. наблюдалась мутность до 33 кг/м³ при расходе реки 45 м³/сек., являвшаяся результатом ливня. По данным строительства, наибольшая зарегистрированная мутность не превосходила 18 кг/м³; второй период, включающий вторую половину лета, осень, зиму и начало весны, характеризуется значительным понижением мутности. В зимний период, когда расходы реки Дзорагет достигают своего минимума (4,5 м³/сек.), мутность практически ничтожна.

Во время осенних паводков происходит повышение мутности потока пропорционально величине их. Среднегодовая мутность составляет 1 кг/м³. Что касается фракционного состава взвешенных наносов реки Дзорагет, то он весьма постоянен и характеризуется в общем следующими соотношениями: наносов средней крупности 0,05—0,5 мм—50—60 %, наносов крупнее 0,5 мм—меньше 10%. В паводковые периоды процент содержания крупных взвешенных наносов в потоке значительно увеличивается и в отдельных случаях достигает 40% и более. Что касается наносов, влекомых по дну, то в среднем соотношение годового стока донных и взвешенных наносов равно 1:3.

Осуществлённая в этих условиях гидроустановка имеет узел головных сооружений, расположенный у входа в ущелье и состоящий из плотины, водоприёмника, двухкамерного отстойного бассейна и тоннельного водоспуска. Из камер отстойника вода переливается через торцовые водосливы со щитами в аванкамеру напорного тоннеля, который и подводит воду к станционному узлу.

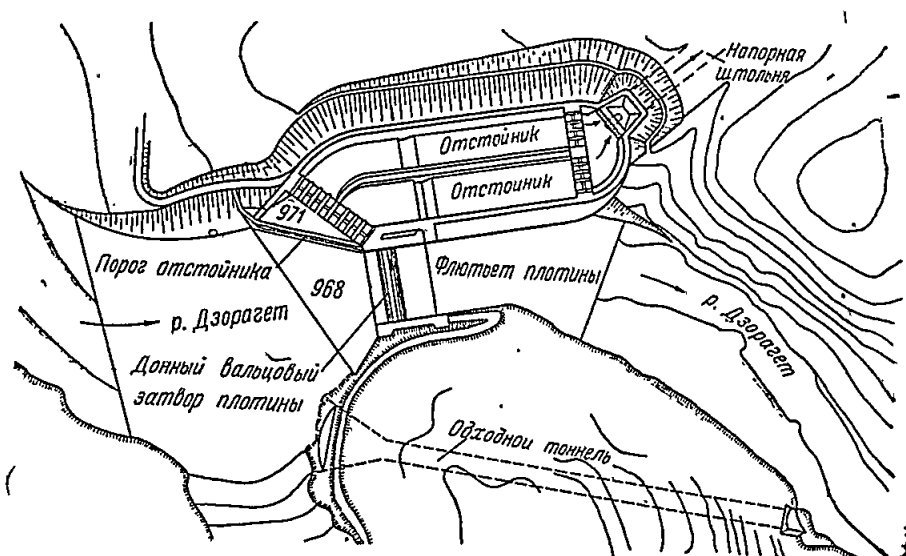


Рис. 107. Водозаборный узел с отстойником ГЭС Дзорагет.

Выбранный створ головного узла даёт возможность наиболее полно использовать падение расположенного ниже участка реки Дзорагет и даёт возможность обойтись короткой плотиной (23 м). На левом берегу, как наиболее пологом, устроен отстойный бассейн, а в правобережной скале—обходной тоннельный водоспуск (рис. 107). Геологические условия района головного узла сооружений не позволили создать большого водохранилища. Таким образом, роль головного узла сооружений свелась к созданию подпора, необходимого для бесперебойного поступления воды в деривацию.

Однопролётная плотина представляет цилиндрический металлический затвор с нижним козырьком. Плотина высотой в 6,50 м и пролётом 23 м создаёт в вышележащей части реки Дзорагет бассейн длиной около 1 000 м и объёмом до 200 000 м³, который является вполне достаточным для суточного регулирования работы гидростанции.

С точки зрения борьбы с наносами принятая конструкция является вполне целесообразной, так как во время прохождения паводков, а значит и максимального количества наносов, затвор находится в поднятом положении. Так как пролёт затвора больше ширины реки по дну, а флютбет плотины находится на одной отметке с дном, то

русло реки остаётся совершенно свободным, и тем самым обеспечивается наиболее близкий к нормальному режим твёрдого расхода реки.

Отметка порога водоприёмника (условная 71 м) на 3 м выше отметки дна верхнего бьефа (68 м), и линия порога расположена почти параллельно линии течения реки—под углом в 110° к оси плотины. Принятая конструкция плотины даёт возможность снижать горизонты верхнего бьефа до предельно низких отметок (отметка наинизшего рабочего горизонта 72,50 м), увеличивать скорости потока и тем создавать наиболее благоприятные условия для промывки наносов; отложившихся перед плотиной и водоприёмником. Эти меры должны предохранять деривацию, главным образом, от донных наносов.

Для ограждения же турбин от крупных взвешенных наносов необходимо было устройство отстойника, так как наносы, несмотря на наличие бассейна суточного регулирования, будут поступать в водоприёмник, особенно в паводковый период, когда плотина открыта.

По своей конструкции отстойник двухкамерный. В начале и в конце камер установлено по одному ряду щитов. Такое устройство даёт полную возможность выключать камеры. Детальный план и разрезы отстойника показаны на рис. 108.

Выбранные габариты отстойника (длина 50 м и ширина 12 м) дают возможность получить скорость течения не свыше 0,25 м/сек. и задерживать взвешенные частицы крупностью выше 0,25 мм, содержание которых при паводочных расходах реки Дзорагет доходит до 9—10 кг/м³.

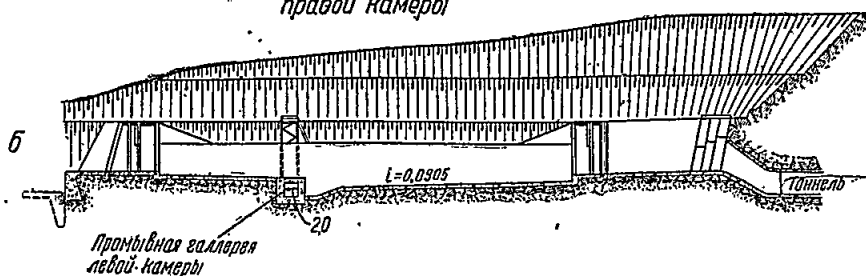
Для удаления отложившихся наносов каждая из камер отстойника имеет боковое донное промывное отверстие круглого сечения с диаметром, равным 2 м, расположенное нормально к продольной оси отстойника и выводящее промывной поток в нижний бьеф плотины. Процесс промывки производится прямым или обратным током, с подачей воды из аванкамеры тоннеля. Для улучшения качества очистки дно камер имеет двойной уклон от концов к донному промывному отверстию; расположенному ближе к началу камер.

Обе камеры отстойника по концам перекрываются тремя плоскими затворами, ширина каждого из них в свету 3 м. Донные промывные отверстия закрываются также плоскими щитами.

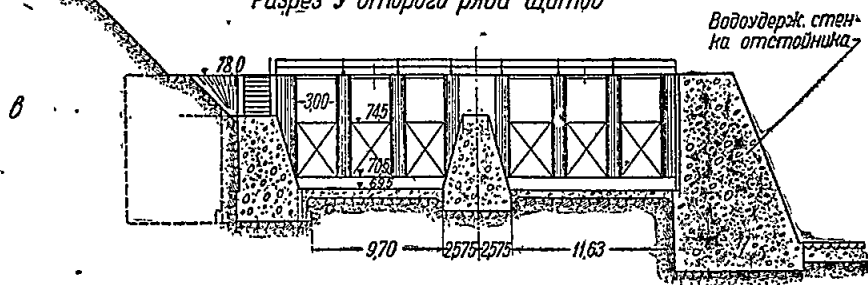
Отстойник в плане имеет криволинейное очертание, обусловленное местностью. В целях борьбы с плавающим мусором при входе в отстойник установлена грубая решётка (из рельсов) и забральная стенка, а при входе в напорный тоннель—мелкая решётка из полосового железа.

В период паводков промыв камер осуществляется постоянным спуском известного расхода воды через вышеуказанные донные отверстия, а в случае периодической промывки промываемая камера щитами изолируется от верхнего бьефа и промывается потоком, направление которого обратно направлению основного движения воды в отстойнике. При этом вода забирается из аванкамеры напорного тоннеля. Входная часть камер может промываться потоком из-под щитов головного сооружения.

Продольный разрез
правой камеры



Разрез у второго ряда щитов



Разрез по промывной трубе
левой камеры

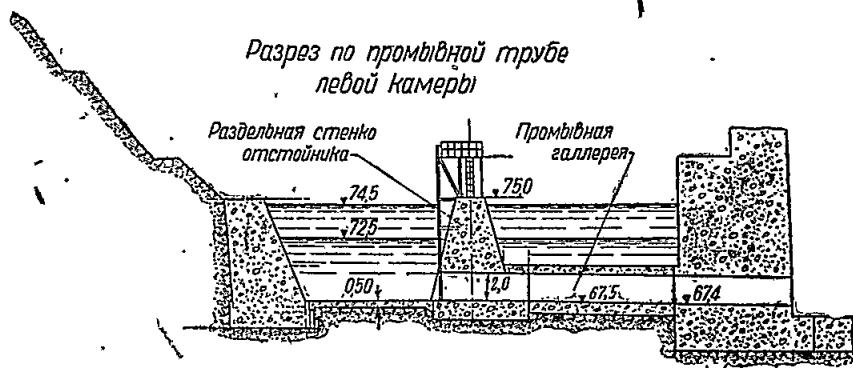


Рис. 108.

б—продольный разрез правой камеры; в—поперечный разрез у второго ряда щитов;
г—поперечный разрез по промывной трубе левой камеры.

Результаты эксплуатации водозабора

На основании проектных данных в 1928 г. объём водохранилища до нормальной расчётной подпорной отметки (74,50 м) был равен 270 000 м³, из которого на полезный объём (объём призмы суточного регулирования) падало 200 000 м³. Годовой же сток реки Дзорагет (для среднего гидрологического года), примерно, равен 500 млн. м³, а годовой объём твёрдого стока (донные и взвешенные наносы) около 270 000 м³, или 450 000 т.

Из приведённых цифр видно, что запроектированный объём водохранилища равен $\frac{1}{2000}$ объёма годового стока и вместе с тем близок к объёму твёрдого стока.

Быстрота процесса заиления водохранилища видна из следующих характерных цифр. В ноябре 1932 г. перед пуском станции в эксплуатацию была произведена детальная съёмка водохранилища, в результате чего выяснилось, что полный объём водохранилища был равен, примерно, 251 000 м³, таким образом, за время строительного периода (с 1928 по 1932 г.) пойма водохранилища была занесена приблизительно на 19 000 м³, а призма суточного регулирования на 10 000 м³.

В 1933 г., после одного года эксплуатации гидростанции, полный объём водохранилища сократился ещё на 62 873 м³, что к объёму 1932 г. составляло, примерно, 25%, т. е. наносами была занята четверть объёма всего водохранилища. Что касается призмы суточного регулирования, то её объём сократился до 156 000 м³, т. е. на 19%, а площадь зеркала водохранилища со 158 000 м² в 1932 г. уменьшилась до 144 800 м² в 1933 г., т. е. сократилась на 13 600 м².

Средняя толщина слоя отложений по ширине русла возрастает по мере приближения к плотине и своей максимальной величины достигает как раз в районе водоприёмника.

Донные наносы аккумулируются в водохранилище целиком, что же касается взвешенных, то в первый год эксплуатации процент осаждения их равнялся 60, а в последующий год он снизился до 30.

Процент осаждения наносов зависит от их крупности, а она, в свою очередь, есть функция расхода реки и времени года. Приведённый выше процент осаждения наносов был получен для расхода реки Дзорагет не больше 30 м³/сек., при этом механический анализ взвешенных наносов показал, что крупность их частиц не превосходила 1 мм, причём фракций < 0,05 мм было около 90%, а фракций < 0,01 мм около 80%.

В таблице 5 показан процент осаждения взвешенных наносов равных фракций в водохранилище за 1932 и 1933 гг. для расхода 30 м³/сек.

Из общего количества отложившихся донных и взвешенных наносов, объём которых достигает 62 873 м³, главную массу составляют взвешенные наносы: 87—96% от всех отложений в бьефе. Роль донных наносов возрастает по мере заиления водохранилища, поскольку скорости увеличиваются и отложение взвешенных наносов затрудняется.

Таблица 5

Дата	Диаметр частиц (мм)					Осажденное валового содержания взвеси (0/0)
	> 1,0	1,0 — 0,5	0,5 — 0,25	0,25 — 0,05	< 0,05	
Июнь 1932 г.	100	100	100	93	52	60
Июль 1933 »	100	100	96	55	25	30

Исходя из местных условий, водозаборные сооружения ДзораГЭС возведены на левом берегу реки Дзорагет.

Однако место водозабора нельзя признать достаточно удачным: непосредственно выше водоприёмника на левом берегу имеется выступ.

В связи с этим, согласно выводам проф. Егиазарова, было произведено спрямление потока с помощью специально устроенной в одну линию с порогом водоприёмника струенаправляющей стенки. Длина её принята строительством равной около 100 м.

В течение одного года работы гидростанции часть водохранилища, непосредственно прилегающая к водоприёмнику, подверглась чрезвычайно сильному заилению, средняя толщина слоя отложений доходила до 1 м. Большая часть отложений имеется у правого берега водохранилища.

При промыве эта часть наносов почти не удаляется. Начиная с левого конца водоприёмника и вверх по течению наносы правого берега водохранилища лежат выше отметки порога водоприёмника (71 м) средним слоем от 0,60 до 1 м. Выше конца струенаправляющей стенки наносы начинают отлагаться и у левого берега, причём отложения также превышают отметку порога и также слабо поддаются промыву. Из сказанного видно, что действие промыва распространяется только по линии струенаправляющей стенки, где образовалось как бы новое русло реки.

Условия работы отстойника, по мере заилиения бьефа, становятся всё более трудными, поскольку будут проникать в водоприёмник и донные наносы.

Характеристика работы отстойника

Основной характеристикой работы отстойника является распределение скоростей в нём при различных условиях входа воды в камеры.

Результаты проведённых исследований НИИГ в натуре при заборе воды из-под щита показали (исследования производились в правой камере отстойника), что наибольшие скорости имеют место у левой стенки камеры, а наименьшие у правой. В начале отстойника распределение скоростей носит беспорядочный характер,

абсолютная величина скорости по длине отстойника убывает. Прижим потока воды к левой стенке (это наблюдается и при случае полного открытия щита) объясняется изгибом камеры в плане. Забор воды из-под щита обуславливает непостоянство скоростей в отдельных точках, как по величине; так и по направлению — появляются водовороты, восходящие токи. Так, приблизительно на $\frac{2}{3}$ длины и $\frac{1}{3}$ ширины камеры имеют место обратные скорости, а при большом расходе и низком горизонте отжим потока становится больше $\frac{1}{3}$ ширины камеры, образуя во всю длину последней мёртвый объём.

При полном открытии щитов (поток воды ведёт себя значительно спокойней) распределение скоростей получается уже более равномерное; поверхность воды становится более гладкой, чего нельзя было сказать о работе отстойника с забором воды из-под щита.

При малых расходах воды в начальный период эксплуатации отстойник не мог задерживать мельчайших фракций наносов, несмотря на уменьшение в нём скоростей течения. В результате получалось значительное заиливание всей деривации и особенно аванкамеры напорного тоннеля.

Эксплуатации пришлось неоднократно удалять в большом количестве ил из тоннеля и напорного бассейна во время остановки станции.

Промываются камеры периодически двойным током как со стороны нижних щитов, так и со стороны верхних. Лучший эффект получается при открытии всех трёх щитов на 10 см. Исследования промыва левой камеры показали, что при промыве прямым током струя сильно прижимается к левому берегу, в то время как по длине правой стенки поток совсем отсутствует, и это затягивает процесс удаления наносов. В то время когда удаление отложившихся наносов происходит обратным током, скорость и глубина потока по сечению распределяются значительно равномерней, что даёт лучшие результаты промывки.

На промыв одной камеры требуется до 2—3 часов.

Расход на промывку колебался в пределах 4—6 м³/сек. и соответствовал предельному открытию трёх щитов отстойника без затопления струи, что даёт лучший эффект промыва.

Резюмируя работу отстойника в целом, следует указать, что левая его камера работает лучше правой, вследствие меньшей её кривизны. Промывка обратным током даёт значительно лучшие результаты, чем прямым.

Криволинейное очертание камер в плане является неблагоприятным условием для осаждения наносов и отчасти для промывки. Только при наличии двусторонней промывки камер это обстоятельство может иметь место в практике строительства отстойных бассейнов.

Вообще же целесообразней линию передних щитов располагать нормально к оси отстойника.

Впуск воды в отстойник следует производить при полном открытии щитов.

Варзобская гидростанция расположена на левом берегу реки Варзоб. В промышленную эксплуатацию она сдана в декабре 1937 г. По гидравлической схеме ВарзобГЭС является станцией деривационного типа и характеризуется следующими основными данными.

Расчётный расход $19 \text{ м}^3/\text{сек.}$, с обеспеченностью до 230 дней для среднего года. Напор нетто 47 м. Установленная мощность $7\,150 \text{ квт.}$ Годовая выработка энергии для среднего года 55 млн. квт.

Гидростанция использует участок реки Варзоб длиной около 5 км. с общим падением $50,6 \text{ м.}$ Река Варзоб имеет полную длину 97 км и представляет собой типичную горную реку смешанного — родникового и ледниково-снегового — питания с преобладанием последнего. Для реки Варзоб характерны два паводка: весенний — снеговой и летний — более высокий — ледниковый.

Для Динавакского гидрометрического поста, расположенного на впадении гидростанцией участка; водосборная площадь реки Варзоб равна $1\,334 \text{ км}^2$, среднегодовой расход равен $44,3 \text{ м}^3/\text{сек.}$, максимальный наблюденный расход равен $375 \text{ м}^3/\text{сек.}$, максимальный возможный паводковый расход принят в $1\,000 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Средний уклон реки $0,0317$.

Что касается твёрдого стока, то следует указать, что периодом наибольшей мутности реки Варзоб является весна и начало лета. Суммарный годовой сток взвешенных наносов по Динавакскому посту; по наблюдениям 1934 г., исчислен в $28\,000 \text{ м}^3$.

Наибольшее среднее наблюденное по сечению содержание взвешенных наносов, примерно, 5 г/л. Начиная с июля вода в реке Варзоб светлеет, а совершенно прозрачной она становится уже в августе, причём в зимний период мутность падает до $0,003 \text{ г/л.}$ Взвешенные наносы состоят (по немногочисленным наблюдениям) почти исключительно из фракций $< 0,25 \text{ мм.}$ В отдельных пробах за май фракций $> 0,25 \text{ мм}$ наблюдалось до $0,89 \text{ г/л.}$

По расходу донных наносов сведений не имеется, но известно, что в паводок река несёт гальку.

Узел головных сооружений ВарзобГЭС (рис. 109) расположен у выхода реки Варзоб из горной части бассейна в предгорье и состоит из водоподъёмной бетонной плотины смешанного типа, создающей подпор 3 м. непосредственно примыкающего к плотине (под углом 90°) водоприёмника и совмещённого с ним двукамерного отстойного бассейна. Из отстойника вода попадает в деривационный канал; имеющий длину $4\,200 \text{ м.}$ заканчивающийся напорным бассейном.

Плотина, как видим, обеспечивает только отвод воды в деривацию. Объём верхнего бьефа не даёт возможности осуществлять даже суточное регулирование.

В функцию головного узла сооружений входит создание возможности бесперебойного забора воды на гидростанцию с необходимым её осветлением и пропуска паводковых расходов через плотину. Плотина состоит из двух частей: щитовой и глухой водосливной.

Глухая водосливная часть обеспечивает пропуск быстро нарастающих ливневых паводков. Щитовая часть служит для промыва наносов, отлагающихся в верхнем бьефе. Общая длина плотины 60,5 м. Гребень бетонного водослива имеет отметку 64,50 м, что соответствует нормальному подпорному горизонту. Длина глухой части плотины 26 м. По мере надобности, отметка гребня водослива может быть поднята путём установки пандор.

Щитовая часть плотины (рис. 109) имеет длину 33 м и предназначена, кроме промыва наносов и пропуска паводка, ещё для сброса шуги. Щитовая часть состоит из трёх пролётов по 7,5 м ширины, перекрытых секторными щитами, и одного отверстия шириною в 6 м, перекрытого секторным щитом с верхним козырьком, предназначенным для сброса шуги.

Отметка (условная) порога щитовых отверстий 61,50 м.

В целях увеличения пропускной способности плотины к правому устью водосливной части плотины примыкает запасный водослив, расположенный в прокопе, по которому пропускался строительный расход. Полная длина этого водослива 80 м. Запасный водослив включается в работу при пропуске паводков, расход которых превышает 600 м³/сек. Так, при пропуске максимального расхода в 1 000 м³/сек. (отметка 66,30 м) через водосливную и щитовую части плотины пропускается 630 м³/сек., а через запасный водослив должно пойти 370 м³/сек.

Водоприёмник Варзобской гидростанции (рис. 110а, 110б и 110в) расположен на левом вогнутом берегу и с осью плотины составляет угол в 90°. Он имеет 4 входных отверстия шириною по 5 м и со вмещён с двухкамерным отстойным бассейном. Входные отверстия водоприёмника перекрыты донными секторными затворами с ручным подъёмом. В целях борьбы с попаданием донных наносов в отстойник, при входе устроен порог высотой 2 м.

Во избежание попадания в отстойник плавающих тел в начале водоприёмника имеется забральная стенка, опущенная до отметки нормального подпорного горизонта, т. е. до 64,50 м. Таким образом, остаётся просвет высотой в 1 м.

Под забальной стенкой помещена грубая металлическая решётка под углом 80° к горизонту.

Расчётный расход водоприёмника равен 19,0 м³/сек.

Отстойник состоит из двух камер, так что расход каждой камеры равен 9,5 м³/сек. Но во время промывки одной из камер расход другой камеры повышается до 75% (14,0 м³/сек.) полного расхода деривации, что обуславливает необходимость производства промывки в часы пониженной нагрузки гидростанции. При промывке не более одного раза в сутки (по проекту) это вполне осуществимо.

В отстойнике должны осаждаться наносы крупные 0,25—0,30 мм. Исходя из этого, отстойнику даны следующие габариты: полная длина камер равна 50,4 м (по чертежам технического проекта 52 м), ширина камер поверху 14,25 м (по чертежам технического проекта 15 м), средняя глубина в камерах при нормальном рабочем горизонте в верхнем бьефе 64,50 равна 2,40 м.

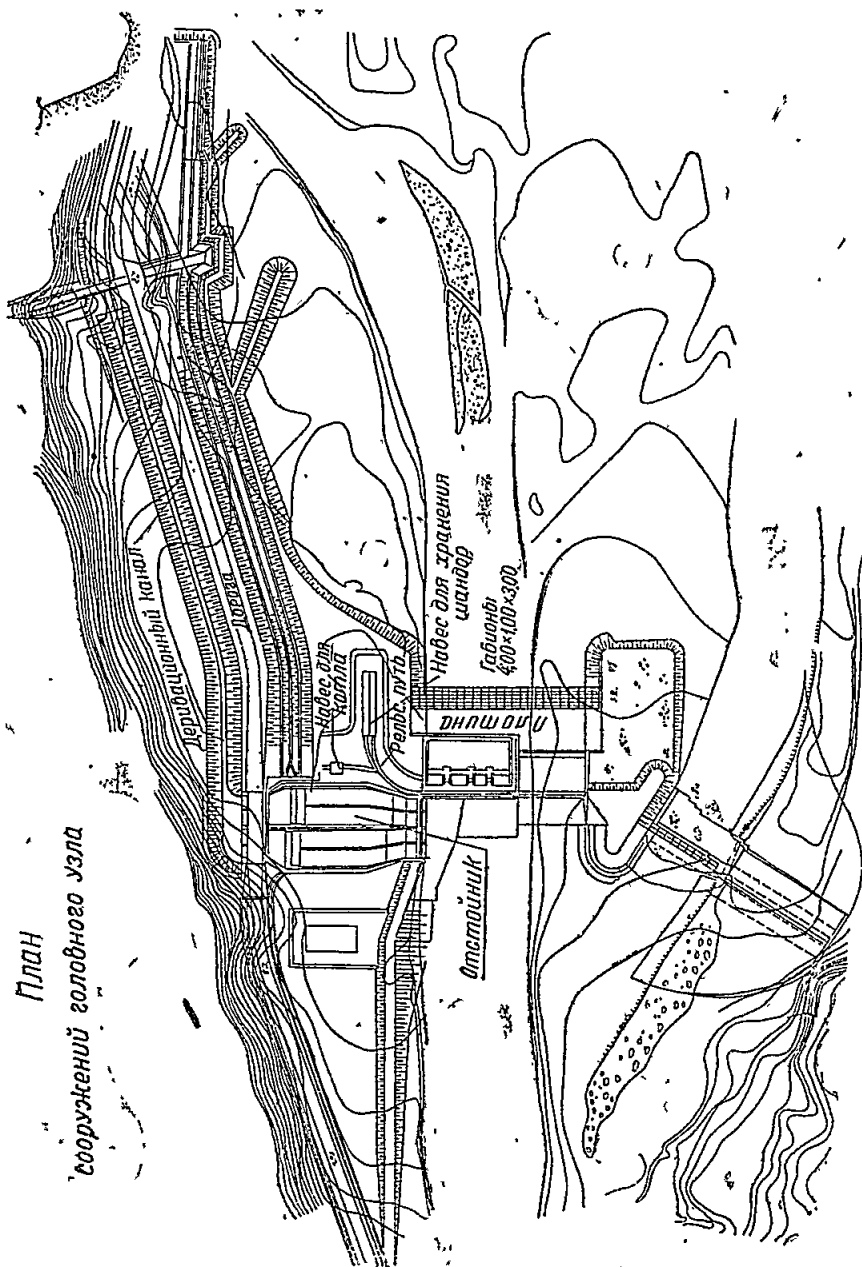


Рис. 109. Водозаборный узел с отстойником Варзобской ГЭС.

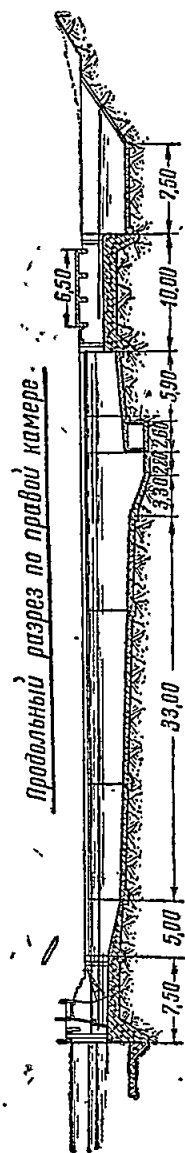
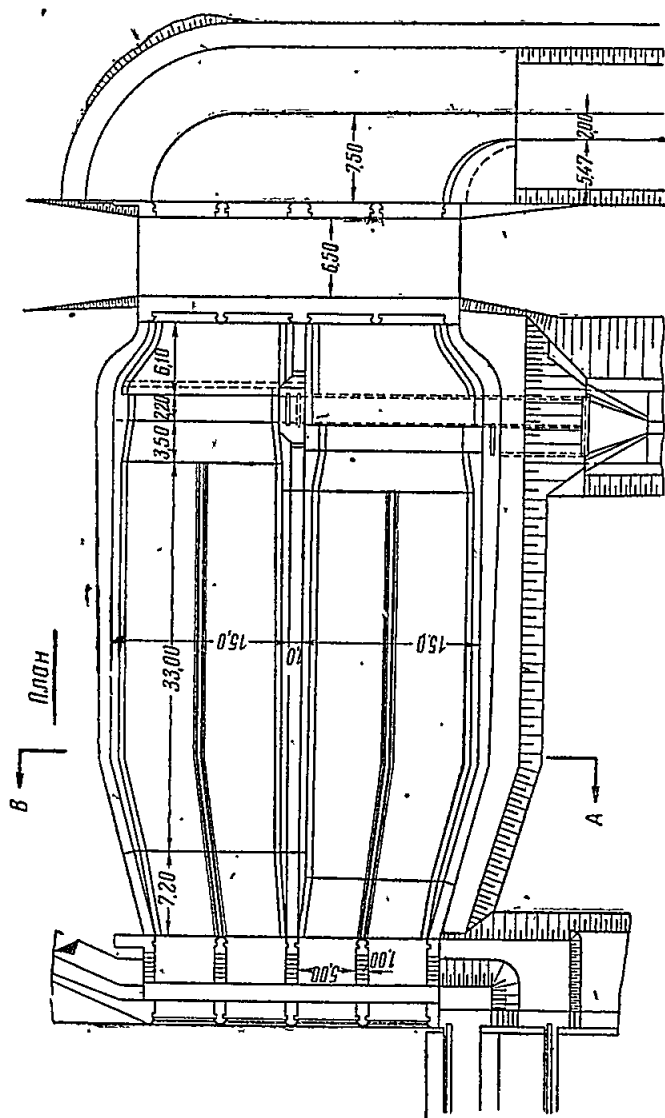


Рис. 110а. Отгораживающий бассейн ГЭС Варзоб.

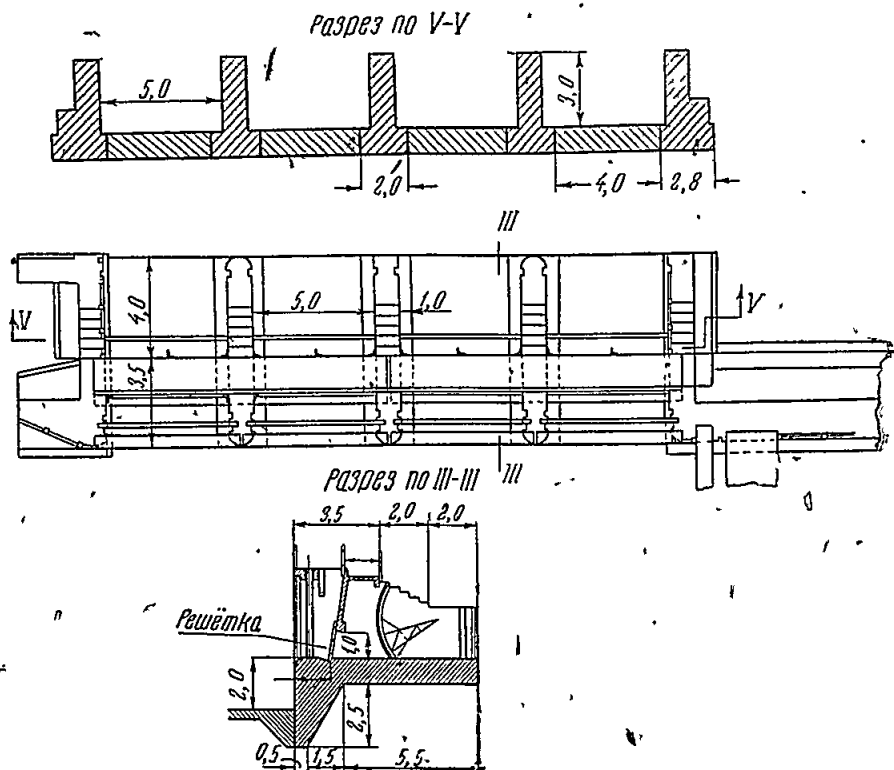


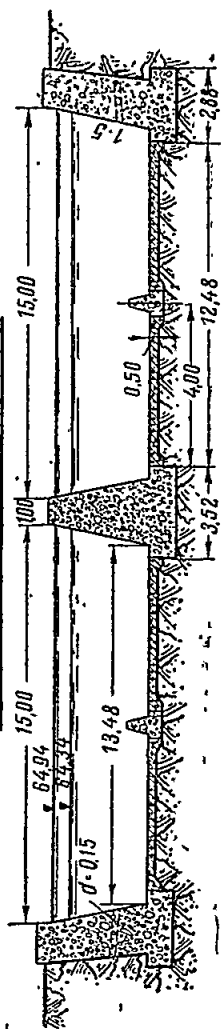
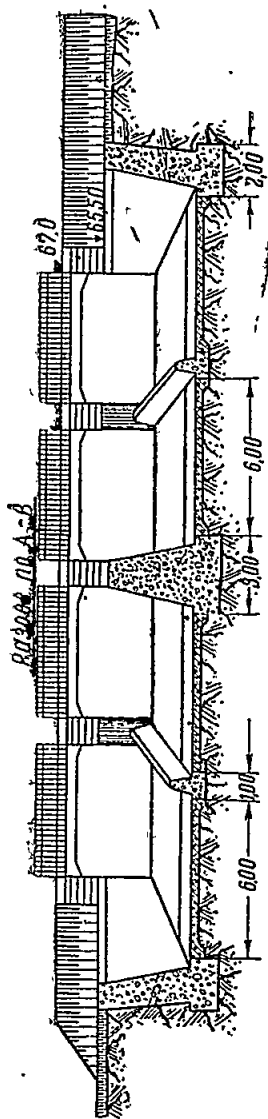
Рис. 1106. Водоприёмные устройства отстойника Варзобской ГЭС (план и разрез).

Как меняется скорость в отстойнике при горизонте воды в нём 64,50 м (при паводке), указано в таблице 6.

Таблица 6

Расход камеры (м ³ /сек.)	Скорости течения (м/сек.)	
	в начале камеры	в конце левой камеры на рас- стоянии 45,9 м
9,5	0,61	0,19
14,0	0,89	0,28

При отметке горизонта воды 64,30 м скорости в конце повышаются до 0,23 м/сек. при $Q=9,5$ м³/сек. и до 0,34 м/сек. при $Q=14$ м³/сек.



Разрез по прямой трубе правой камеры

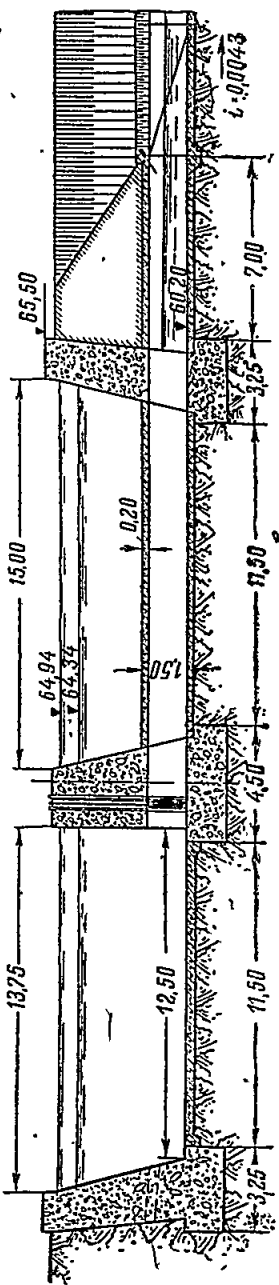


Рис. 410в. Поперечные разрез отстойника Варзобской ГЭС.

В целях повышения качества и быстроты промывки, каждая камера отстойника, в свою очередь, разделена на две части продольной стенкой высотой в 0,75 м (по чертежам технического проекта 1 м) (рис. 110в). В каждой камере отстойника на расстоянии 5 м от её головы находится успокоитель (на чертеже технического проекта он не показан), состоящий из трёх рядов вертикально поставленных металлических трубок диаметром в 50 мм. Вверху трубки заделаны в балки служебного железобетонного мостика. Уклон дна отстойника 0,03. В концевой части отстойника находятся выходные отверстия шириною по 5 м, по два на каждую камеру. Они перекрыты секторными щитами (по техническому проекту были запроектированы шандоры, рис. 110 б) высотой в 1,60 м. Отметка порога выходных шлюзов 63,50 м. В расстоянии 6,40 и 8,50 м от порога выходных шлюзов отстойника находятся промывные галлерей сечением $2,20 \times 1,50$ м, перекрытые плоскими металлическими щитами шириной в 2,52 м и высотой в 1,50 м. Таких щитов имеется два.

Дно промывных галлерей имеет отметку 60,20 м, установленную из расчёта, чтобы при паводке в 300 м³/сек. дно отстойника не затопилось со стороны нижнего бьефа.

Осветлённая в отстойнике вода через выходные шлюзы попадает в аваркамеру и из последней в деривационный канал. Что касается промывки камер отстойника, то она производится поочередно, периодически и гидравлическим способом. При этом выпускные шлюзы камеры закрываются, щит промывной галлерей открывается, и смыв отложившихся наносов производится прямым током сильной струи, вытекающей из-под приподнятых щитов водоприёмника.

Промывная вода с наносами из промывных галлерей через промывной канал длиной в 270 м сбрасывается в реку Варзоб.

Общее количество отложений, в каждой камере исчислено в 285 м³/сут. Расход промывной воды принят в 40 м³ на 1 м³ грунта.

При промывном расходе в 6 м³/сек. время промывки составит 32 минуты.

СУХУМГЭС

Сухумская гидростанция строится на реке Гумисте и предназначена для снабжения электроэнергией города Сухуми и прилегающих к нему районов. Строительство СухумГЭС начато в конце 1932 г.

СухумГЭС относится к высоконапорным деривационным установкам. Расчётный расход гидростанции принят равным 10,5 м³/сек. при 4-месячной обеспеченности в течение года, расчётный напор 215 м. На станции устанавливаются три вертикальные спиральные турбины. Френсиса мощностью по 6400 квт каждая. Среднегодовая выработка энергии гидростанции составляет 107 млн. кв ч.

Река Гумиста образуется в результате слияния двух рек: Восточной Гумисты и Западной Гумисты. Источником питания той и другой реки являются атмосферные осадки и родники. Водосборные бассейны обеих рек берут своё начало в районе отрогов Главного кавказского хребта. До своего слияния реки имеют следующую протяжённость: Восточная Гумиста—31 км, Западная Гумиста—

28 км; Примерно, в средней своей части реки протекают друг от друга в расстоянии 2,5—3 км, разделяясь горным массивом «Отюш». Горизонт воды реки Восточная Гумиста превышает горизонт реки Западная Гумиста на 230 м. Эта значительная разница горизонтов и определила общую схему использования энергии реки. Выбранная схема сводится к тому, что вода из Восточной Гумисты посредством напорной шtolьни ($l=2\,552$ м, $d=2,3$ м) и напорного трубопровода [$l=370$ м] сбрасывается в Западную Гумисту. Поэтому головной узел расположен на Восточной Гумисте, а станционный на Западной Гумисте.

Сток, используемый гидростанцией, складывается из стока реки Восточной Гумисты и стока её притока реки Цумур, впадающего в Восточную Гумисту на 300 м ниже узда головных сооружений. Захват и переброска воды из реки Цумур в водохранилище при головном узле сооружений достигается помощью невысокой бетонной водосливной плотины, сооружённой на реке Цумур, и безнапорной шtolьни длиной в 327 м. Эта переброска дополнительного стока даёт увеличение расхода станции в среднем на 25 %, а выработка энергии увеличивается в среднем на 15 %.

Гидрологическая характеристика рек, питающих гидростанцию за период наблюдений с 1931 по 1935 г., видна из таблицы 7.

Таблица 7

№ п/п	Гидрологическая характеристика	Река Восточная Гумиста выше головного сооружения	Река Цумур у устья
1	Расход воды — абсолютный минимум (м³/сек.)	1,5	0,33
2	Расход воды — замеренный максимум (м³/сек.)	44,3	30,35
3	Расход воды среднегодовой (м³/сек.)	7,78	2,27
4	Расход воды расчётный катастрофический (м³/сек.)	650,0	225,0
5	Используемая водосборная площадь (км²)	417	43

Средняя мутность для Восточной Гумисты по створу, расположенному ниже впадения реки Цумур, за годы 1932—1935 составляла 0,07—0,09 г/л.

Данных по режиму донных наносов не имеется. Режим верхнего бьефа по проекту предусматривается в следующем виде.

Отметка (условная) катастрофического горизонта воды в верхнем бьефе принята равной 210,0 м. Отметка наименьшего горизонта 204,0 м. В зимнее время при расходе в реке меньше расчётного, равного 10 м³/сек., необходимо суточное регулирование, при этом отметка горизонта верхнего бьефа колеблется в пределах от 209,5 до 204,0 м. Во всё остальное время года, когда расход реки превы-

шает расчётный расход гидростанции, отметку горизонта верхнего бьефа предположено держать минимальной (204,0 м) с тем; чтобы скорость движения воды в бассейне перед сооружениями превышала скорость, при которой начинается выпадение взвешенных частиц. Таким образом, предполагается, что в период прохождения паводков полезный объём водохранилища не будет заноситься наносами.

Головной узел сооружений создаёт бассейн суточного регулирования объёмом до 70 000 м³ и обеспечивает забор расчётного деривационного расхода в 10,5 м³/сек.

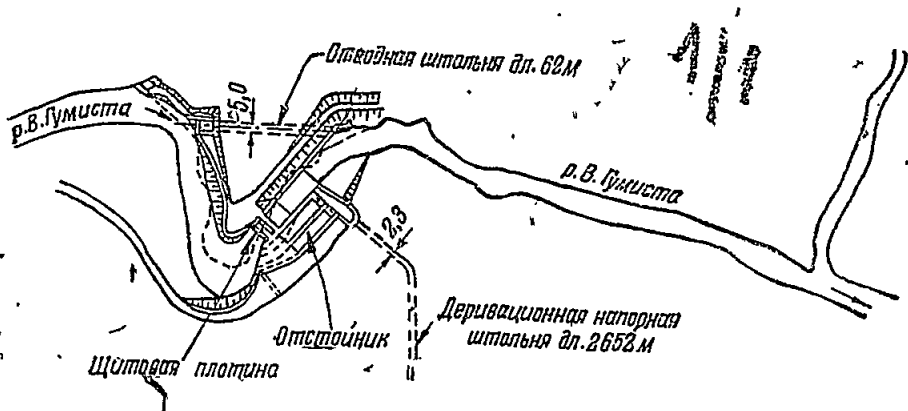


Рис. 111. Водозаборный узел Сухумской ГЭС.

В состав головного узла входят (рис. 111): щитовая плотина с одним пролётом в 10 м, водоприёмник, двукамерный отстойник с периодическим гидравлическим промывом, сборная камера, от которой отходит напорная деривационная штольня, и, наконец, отводная строительная штольня длиной в 62 м.

Тело плотины расположено нормально направлению потока реки. Десятиметровый пролёт плотины перекрывается плоским сдвоенным щитом. Щит рассчитан на случай установления в верхнем бьефе катастрофического горизонта с отметкой 210 м. Пропускная способность отверстия плотины при отметке горизонта верхнего бьефа 209,5 м равна 550 м³/сек. Порог плотины принят на отметке 198,5 м. В случае внезапного выключения турбин расчётный расход в 10 м³/сек. может быть сброшен в нижний бьеф через гребень верхнего щита плотины, имеющего водосливной профиль. При этом толщина переливающегося слоя составит 0,5 м.

Водоприёмное сооружение и отстойник расположены на правом берегу реки Восточная Гумиста. Со стороны верхнего бьефа ось плотины с линией водоприёмника составляет угол 114°.

Водоприём осуществляется посредством двух, перекрытых сверху железобетонными плитами, криволинейных в плане галлерей шириной по 3,5 м и высотой, изменяющейся от 1,75 до 2,25 м. Отметка порога водоприёмника равна 201,5 м. Высота входного порога водоприёмника 4,5 м.

Впускное устройство состоит из последовательно одна за другой расположенных трёх забральных стенок, первая из которых служит для направления к плотине плавающего мусора. Под первой забральной стенкой при входе в галерею устанавливается грубая решётка, перед второй забральной стенкой устроены пазы для шандорных

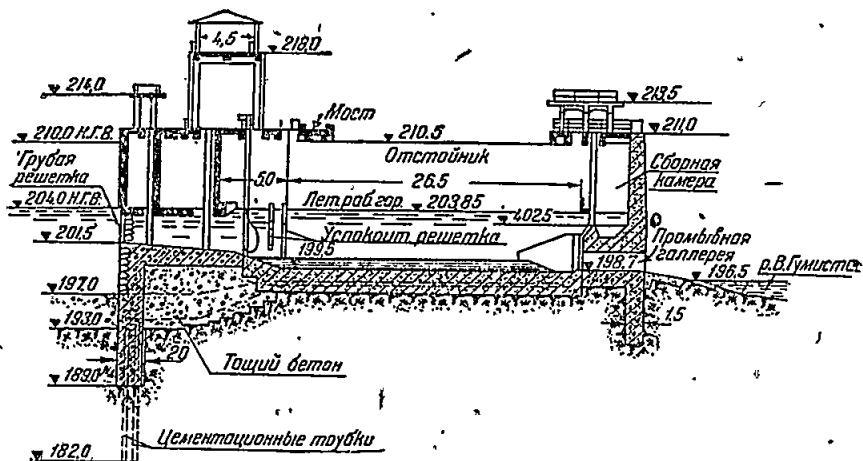


Рис. 112а. Отстойный бассейн Сухумской ГЭС (разрез).

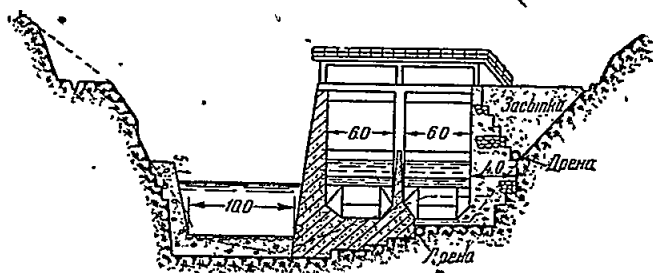


Рис. 112б. Отстойный бассейн Сухумской ГЭС (поперечный разрез).

щитов скользящего типа. Перед третьей забральной стенкой каждая галерея имеет щитовое ограждение шириною в 3,5 м и высотой в 2,25 м. Для улавливания мусора в конце каждой галереи за щитами устанавливается сачкообразная решётка, за которой следуют два ряда успокоительных решёток.

Отстойник двухкамерный (рис. 112), ширина каждой камеры 6 м, длина 26,5 м. Принятые габариты камер должны обеспечить осажде-

ние наносов крупностью выше 0,4 мм. Отстойник предполагается промывать периодически гидравлическим способом. Отметка верха крайних стенок 211 м, а внутренней 205 м. Отметка наивысшего возможного горизонта в отстойнике равна 210, минимального 204 м. Для промыва наносов в конце каждой камеры отстойника имеется промывная галерея шириною в 3,5 м и высотой в 1,50 м. Отметка дна промывной галереи 198,7 м.

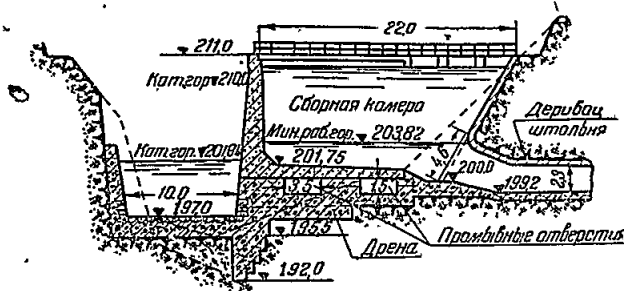


Рис. 112в. Поперечный разрез по сборной камере отстойника Сухумской ГЭС.

Через водослив, устроенный в конце каждой камеры отстойника, осветлённая вода попадает в сборную аванкамеру, которая расположена нормально к оси отстойника. Ширина сборной камеры по дну меняется от 2 м в начале до 4 м в конце. К концу аванкамеры примыкает портал напорного деривационного тоннеля, при входе в который установлена наклонная мелкая решётка размером 4,0 × 4,6 м.

Из рисунка 111 видно, что отводная строительная штольня, входящая в состав головного узла сооружений, расположена на левом берегу Восточной Гумисты. Штольня спрямляет излучину реки в этом месте и предназначена для пропуска в период строительства расхода до 150 м³/сек. Этим обеспечивается возможность производства работ по отстойнику и плотине насухо. В период эксплуатации штольня может служить для промывки донных наносов, предотвращая, таким образом, их продвижение к водоприёмнику.

Как показали результаты исследований (в лаборатории строительства), успешного промыва донных наносов через плотину можно достичь только при расходах реки выше 100—120 м³/сек.; при меньших расходах перед входом в водоприёмник отлагаются наносы. Порог водоприёмника можно хорошо промыть пропуском через плотину расхода больше 150 м³/сек. при закрытом входном отверстии строительной штольни.

В целях создания направления потока, благоприятного для забора воды и промыва донных наносов, вдоль порога водоприёмника проектом предусмотрено перед головным сооружением на правом и левом берегах устройство подпорных стенок.

Канакирская гидростанция находится в Армении на реке Занге, вытекающей из большого озера Севан, расположенного недалеко от г. Еревана. Озеро Севан имеет длину 75 км, ширину 45 км. Площадь водной поверхности составляет 1,4 тыс. км². Ежегодный сток в озеро Севан равен, примерно, 1,25 млрд. м³, а забирает воду из озера только одна река Занга, что составляет для озера дебит порядка 85 млн. м³ в год. Впадает река Занга в реку Аракс.

Проблема использования озера Севан для энергетических и ирригационных целей сводится к значительному выпуску запасов его воды в реку Зангу, на которой должны быть, непрерывным каскадом, построены 8 гидростанций общей мощностью в 570 000 квт. Одной из этих гидростанций (второй по мощности) и является Канакирская ГЭС.

Река Занга характеризуется сравнительно невысокими паводками и малым количеством взвешенных наносов; в меженный период вода бывает почти прозрачной. В паводок количество взвешенных наносов достигает 900 мг/л, при этом частиц крупнее 0,5 мм бывает до 15% от общего количества взвешенных наносов.

Характеристика взвешенных наносов реки Занга на гидрометрическом посту у Арзни, находящемся в районе створа головных сооружений КанакирГЭС, по наблюдениям 1929 г., приведена в таблице 8.

Т а б л и ц а 8

Дата	Содержание наносов (%)	Разделение по крупности (%)				
		1—0,5 (мм)	0,5—0,25 (мм)	0,25—0,05 (мм)	0,05—0,01 (мм)	< 0,01 (мм)
Апрель 1929 г. .	0,47	10,59	—	25,02	13,42	47,33
Май 1929 » .	0,90	46,68	—	27,42	9,27	42,20
Июнь 1929 » .	0,33	8,10	—	30,73	8,17	50,20

Канакирская гидростанция является высоконапорной (около 170 м) деривационной установкой с полной проектной мощностью в 88 000 квт и годовой выработкой 450 млн. квтч.

Узел головных сооружений КанакирГЭС состоит из водоподъемной щитовой плотины и двух водоприёмников (на правом и левом берегах) с промывными шлюзами и отдельными стенками (рис. 113). Плотина имеет 4 пролёта шириною по 5,25 м каждый, перекрытых сегментными затворами автоматического гидравлического действия, обеспечивающими постоянный горизонт воды в верхнем бьефе.

При полном открытии щитовых отверстий плотины через последнюю пропускается расход 300 м³/сек.

Промывные шлюзы служат для промыва донных наносов, отлагающихся в верхнем бьефе перед порогами левобережного и правобережного водоприёмников.

Промывные отверстия (донные) перекрыты плоскими щитами и имеют ширину: левый 5 м, правый 4,20 м.

Каждый промывной шиюз примыкает с одной стороны к отдельному боковому устою плотины, а с другой к порогу водоприёмника

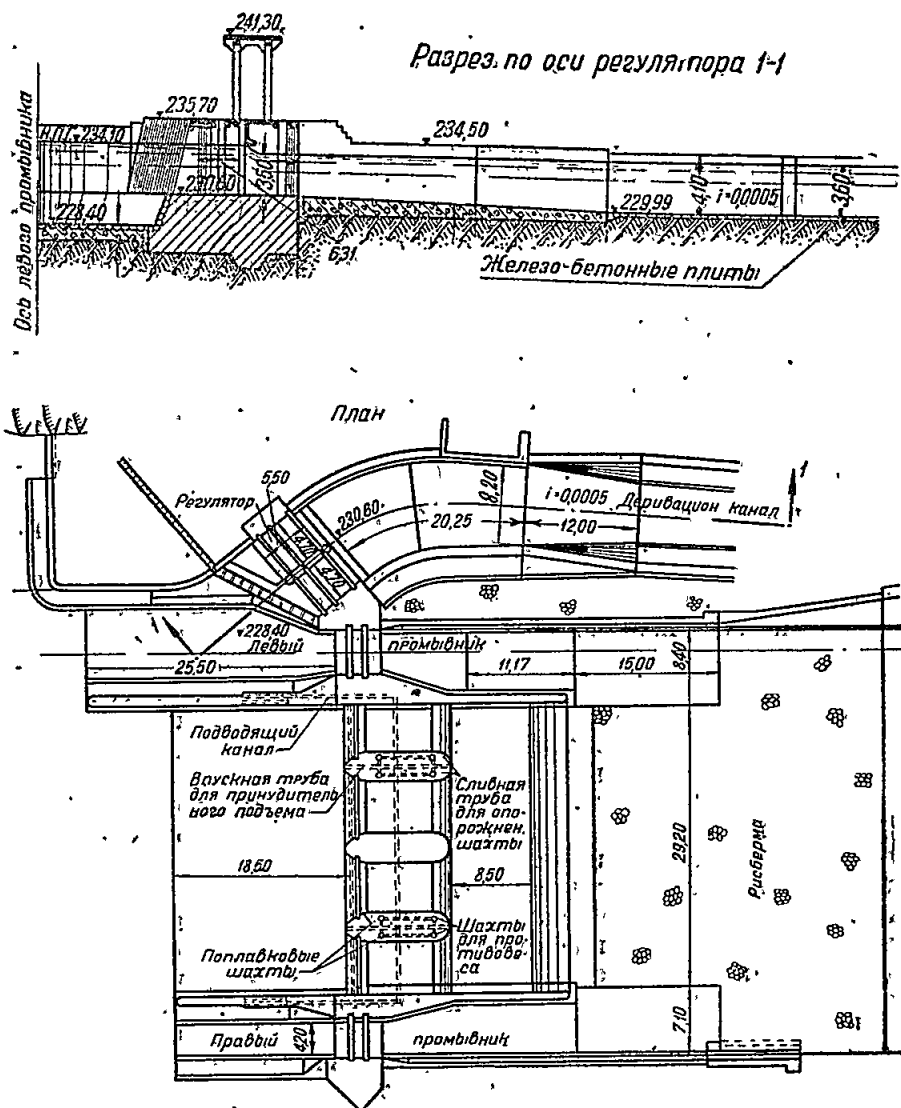


Рис. 113. Водозаборный узел Канакирской ГЭС.

Во избежание напыла отложившихся перед плотинной наносов на порог водоприёмника между каждым промывным шиюзом и плотинной устроена раздельная стенка.

Левобережный водоприёмник забирает воду (60—66 м³/сек.) в деривационный гидросиловой канал, из которого ниже делается отвод (до 5 м³/сек.) для ирригации.

Ось водоприёмника с осью промывного шлюза составляет угол в 45°. В целях уменьшения попадания донных наносов в деривационный канал при входе в него устроен порог высотой 2,2 м. В начале водоприёмника установлена грубая решётка с просветами в 0,3 м, состоящая из пятисантиметровых труб. Глубина воды на пороге регулятора равна 3,5 м. Регулятор состоит из двух отверстий шириною по 4,7 м. Общая ширина регулятора равна 10,3 м. Перекрываются отверстия плоскими щитами.

Правобережный водоприёмник, предназначенный для целей ирригации, пока ещё не осуществлён.

Вопреки обычно принятому наиболее целесообразному расположению отстойного бассейна в узле головных сооружений, отстойник Канакирской ГЭС, в силу большой узости каньона в створе головного узда, расположен двумя километрами ниже, головы деривационного канала. Габариты отстойного бассейна при пропуске расчётного расхода в 60 м³/сек. установлены исходя из условия осаждения взвешенных наносов крупностью 0,5 мм.

Отстойник двукамерный с периодической гидравлической промывкой.

Входной шлюз отстойника (рис. 114) состоит из четырёх отверстий (по два на каждую камеру), пролётом по 3,70 м. Продольная раздельная стенка отстойника в головной части переходит в бычок шириною в 6 м. Входные отверстия перекрыты плоскими колёсными щитами, каждая пара которых обслуживается одним подъёмником, помещённым на служебном мостике над бычками. С верховой стороны перед щитами предусмотрено устройство шандор, с низовой же стороны они отсутствуют, так как пространство за щитами может быть осушено путём опорожнения камер. Отметка (условная) порога входного отверстия равна 228,66 м. Отметка дна в начале бассейна принята равной 228,57 м. Уклон дна камер отстойника равен 0,05.

Как показали лабораторные исследования под руководством проф. Егизарова в Ленинградском институте гидротехники, промыв камер отстойника при принятом уклоне дна дал хорошие результаты. В поперечном разрезе камеры имеют трапециoidalное сечение, ограниченное с одной стороны продольной раздельной стенкой, а с другой стороны бетонированным откосом. Длина отстойника между входным и выходным шлюзами равна, примерно, 91 м.

Максимальная ширина камер по дну равна 11 м. При расчёте габаритов отстойника скорость осаждения принималась, по Судри, с некоторой поправкой на уменьшение, которое является следствием движения жидкости. Восходящая скорость принята в расчётах равной $\frac{1}{12}$ от горизонтальной скорости. Принятые в расчёте величины горизонтальных скоростей на 10% увеличены, по сравнению с теоретическими, что является известной поправкой на неравномерность распределения скоростей по сечениям отстойника.

Концевая часть отстойника состоит из двух выходных шлюзов пролётом по 4,7 м каждый и разделённых между собою бычком

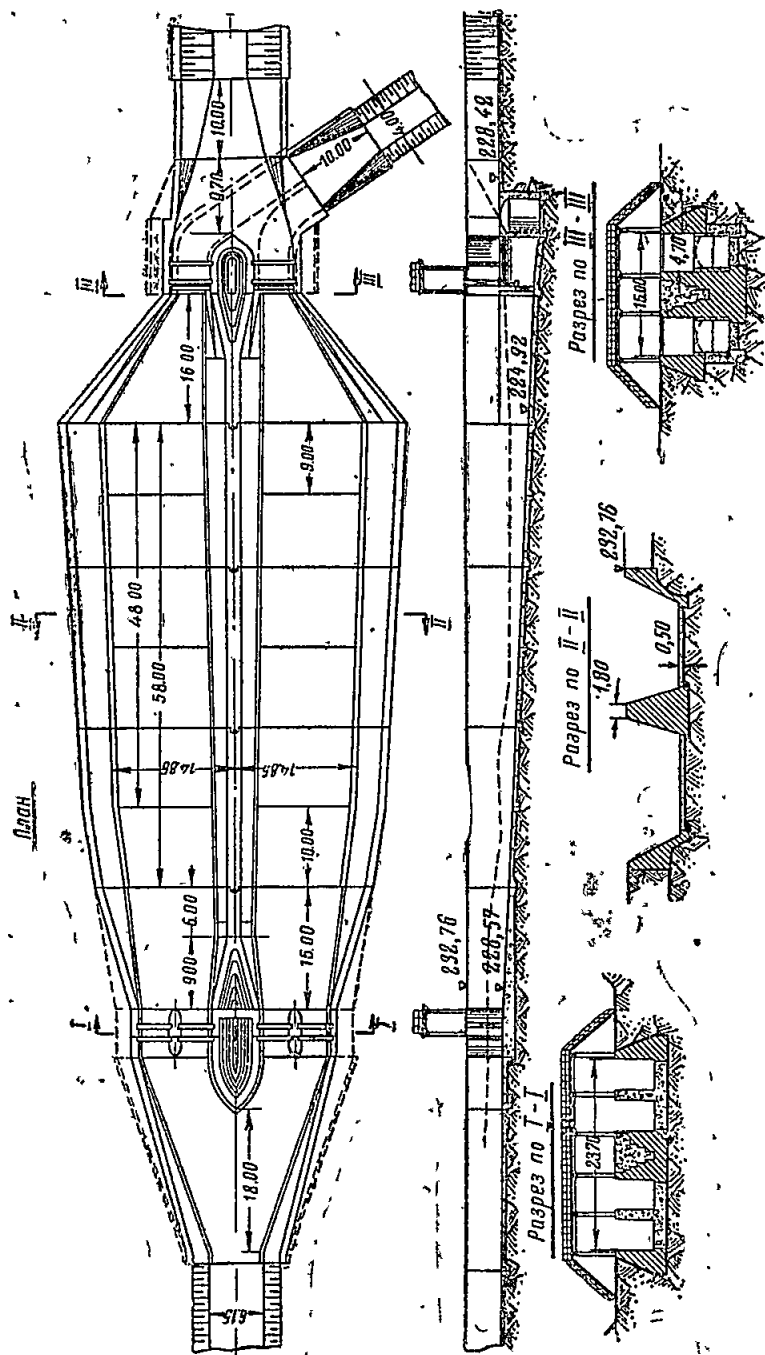


Рис. 114. Отстойный бассейн Канакирской ГЭС,

шириною в 6,6 м. Отметка порога выходных шлюзов принята равной 228,57 м. Перекрыты выходные отверстия плоскими щитами, за которыми предусмотрено шандорное заграждение. Осветлённая вода из отстойника через выходные шлюзы попадает в продолжающийся далее деривационный канал.

В целях промывки отстойного бассейна в концевой части его под выходными шлюзами имеется два донных промывных отверстия шириною по 3,70 м и высотой по 2 м каждый. Отметка порога промывных отверстий принята равной 224,12 м. Перекрыты отверстия плоскими донными щитами. Каждый щит выходного шлюза и расположенный под ним щит донного отверстия обслуживаются одним общим подъёмным механизмом, расположенным на служебном мостике.

Процесс промывки отстойника происходит путём закрытия входных и выходных шлюзов. Одна из камер отстойника отключается от канала, затем через открытое донное промывное отверстие происходит спуск имеющейся в камере воды и уже после этого на некоторую, сравнительно незначительную, высоту поднимаются входные щиты камеры. Сильной струёй из-под щита со скоростью в 6—7 м/сек. наносы смываются и сбрасываются через промывное отверстие и сбросной канал в реку.

Так как отстойник на канале расположен ниже криволинейного участка, то распределение расходов воды и особенно наносов по камерам неравномерное. Левая камера получает наносов на 40% больше правой, и наносы в ней, несомненно, более крупные. Это обстоятельство, в свою очередь, говорит о том, что в подводящей части канала имеются в значительном количестве донные наносы. Наблюдения это подтверждают.

В реке перед карманом на левом берегу имеется выступ, который создаёт здесь своеобразное течение, сопровождаемое размывом наносов и усиленным завлечением их в карман. В самом кармане у левого борта образуются значительные донные скорости, продвигающие наносы к порогу водоприёмника, где они отлагаются, а в дальнейшем попадают в канал.

За регулятором в канале отмечаются отложения наносов крупностью 1—3 мм. Но эти отложения смываются вниз, поскольку в бетонированном канале скорости значительны. В конце деривации имеется бассейн суточного регулирования, который при недостаточном освещении потока в отстойнике заиляется. Заиляются также напорный бассейн и канал, поскольку колебания уровней в них также имеются при суточном регулировании.

МНОГОКАМЕРНЫЕ ОТСТОЙНИКИ С ЛОБОВЫМ ПОДХОДОМ ВОДЫ

ОТСТОЙНЫЕ БАССЕЙНЫ ПРИ ЧУМЫШСКОЙ ПЛОТИНЕ

Режим наносов реки Чу

Река Чу образуется от слияния рек Кочкура и Джуван-арыка, берущих своё начало из горных речек, образующихся в результате таяния ледников южного склона Терской Алатау и Александровского хребта. Река Чу от истоков и до выхода из Буамского ущелья протекает по горной долине, и только по выходе из ущелья она принимает равнинный характер.

В течение года река Чу имеет два паводка: один в начале лета, другой в середине.

Чумышская плотина построена на реке Чу в целях обеспечения водой Георгиевского (на правом берегу) и Атбашинского (на левом берегу) каналов и пущена во временную эксплуатацию в мае 1934 г. (рис. 115).

В результате исследований установлено, что за полуторамесячный период в верхний бьеф поступило крупных наносов $Q = 9\,250$ т, что при объёмном весе $\gamma = 1,30$ составляет $7\,110$ м³. Удельный вес донных наносов получился равным 2,80. В составе донных наносов фракции мельче 7 мм составляют, примерно, 47% и крупнее 7 мм 53%.

Что касается взвешенных наносов; то в результате проведённых двухмесячных наблюдений (с 20 июля по 20 сентября 1934 г.) на створах № 1 (условия естественного режима), № 11 (на 112,4 м от оси плотины), № 12 (на 93,4 м выше линии щитов плотины) и на гидрометрическом створе Атбашинского канала (вблизи левого регулятора плотины) получены данные, приведённые в таблице 9.

Таблица 9

Место взятия проб	Дата	Расход взвешенных наносов (кг/сек.)	Расход воды (м ³ /сек.)
Створ № 1	20/VII 1934 г.	20,29	54,7
» № 1	5/VIII 1934 »	33,82	70,3
» № 1	25/VIII 1934 »	41,75	74,7
» № 1	7/IX 1934 »	47,04	84,6
Гидрометрический створ Атбашинского канала .	20/VII 1934 »	8,51	21,0
	5/VIII 1934 »	24,00	18,4
	7/IX 1934 »	33,50	10,2
Плотинный створ № 11, 12	6/VIII 1934 »	47,10	—
	7/IX 1934 »	29,30	—

Фракционный состав взвешенных наносов реки Чу и Атбашинского канала (за 5 августа 1934 г.) см. в табл. 10.

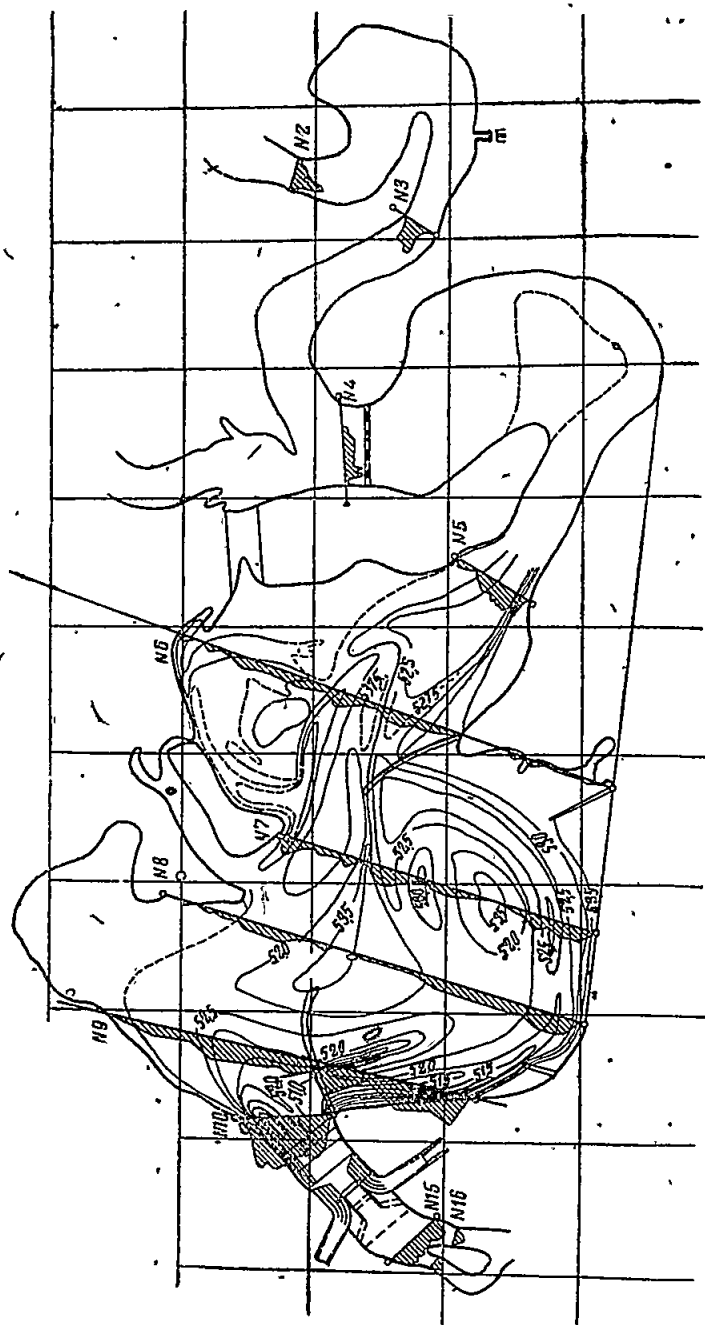


Таблица 10

Место взятия проб	Общая мутность (г/л)	В процентах по фракциям		
		> 0,25	0,25-0,05	< 0,05
Створ № 1	0,467	1,9	10,9	87,2
Гидрометрический створ Атбашинского канала . .	0,338	0,6	2,4	97,0

Как видим, преобладающая фракция наносов < 0,05 мм.

Фракционный состав наносов, отложившихся в зоне подпора (по створу № 11), следующий:

Таблица 11

Расстояние от правого берега до места взятия проб (в м)	Фракционный состав (в процентах по весу)										
	Диаметр частиц (мм)										
	30-20	20-14	14-7	7-5	5-3	3-1	1,00-0,25	0,25-0,10	0,10-0,05	0,05-0,01	Меньше 0,01
20	—	—	—	—	—	—	—	13,28	16,98	36,38	33,36
40	—	—	—	—	—	—	—	7,98	34,54	25,52	31,96
60	—	—	—	—	—	—	—	24,60	51,78	13,74	9,89
85	38,9	16,9	23,4	2,6	2,6	13,0	2,6	—	—	—	—

Следует отметить, что вдоль левого берега поверхностная скорость потока равна, примерно, 0,75 м/сек. К правому берегу она убывает, доходя до 0,20—0,10 м/сек. Повышенными скоростями вдоль левого берега и объясняется тот факт, что в 15 м от левобережной оградительной дамбы отложения мелких наносов отсутствуют.

Из таблицы видно, что главную массу отлагающихся наносов составляют фракции меньше 0,25—0,10 мм. Если рассмотреть отложения у правого берега, то видим, что процент мелких частиц (< 0,05 мм) не превосходит 70, а из таблицы 10 мы видели, что на створе № 1 он равен 87%, на створе Атбашинского канала 97%.

Этот факт говорит о том, что более мелкие наносы не отлагаются перед плотиной, а проносятся в нижний бьеф. Проведёнными исследованиями САНИИРИ установлено, что в пределах подпора осаждение взвешенных наносов равно, примерно, 62%, что даёт в период полуторамесячных наблюдений количество осевших наносов 85 551 т. Отношение донных наносов к взвешенным по весу составляет, примерно, 11%.

Значит, заиление происходит, главным образом, за счёт взвешенных наносов.

Объём, занимаемый отложившимися наносами, за этот же период равен 198 786 м³.

Сумма отложившихся донных и взвешенных наносов равна 94 801 т. Тогда объёмный вес отложений будет равен 0,48, а при удельном весе отложений 2,80 их пористость будет составлять 83%.

Узел головных сооружений

Головной узел сооружений состоит из двухпролётной разборчатой плотины с двумя сегментными щитами и двух водоприёмников типа Эльсден, служащих для забора воды в Георгиевский (правый) и Атбашинский (левый) каналы (рис. 116). Отстойники располагаются прямо в реке, с лобовым забором воды. Регулятор каждого канала имеет два яруса пропускных отверстий: верхние служат для пропуска осветлённой воды из кармана в канал, нижние (донные отверстия)—шириной по 4,5 м и высотой по 1,25 м—служат для промывки наносов из камер отстойника и для сброса паводковых вод. В нижнем бьефе промывные галереи выводятся в водобойный колодец. Карман, находящийся впереди регулятора, в целях промывки его по частям, разделён продольными стенками, имеющими разную длину, уменьшающуюся в направлении от берега к середине реки. Следовательно, длина отдельных камер не постоянна и изменяется от 23 до 35 м.

Для направления шуги и плавающего мусора от отстойника к отверстиям плотины впереди камер устройства забральная стенка высотой в 1,25 м, направленная под углом в 22° к оси плотины. При нормальном горизонте воды¹ (53,50) низ забальной стенки заглублён под уровень на 0,70 м, а глубина воды в камерах при этом равна 4 м.

Исследование работы узла головных сооружений производилось летом 1934 г. В силу того что крупные наносы к периоду исследования ещё не подошли к головным сооружениям, экспедиция САНИИРИ была вынуждена проводить изучение промыва наносов в камерах не в бытовых условиях, а с помощью искусственной загрузки камер наносами поймы реки Чу. Принятая нумерация камер приведена на рисунке 116. Остановимся кратко на условиях и результатах исследований по каждому пункту в отдельности.

Гидравлика потока в камерах

Левая камера № 1. Расход воды $7,2 \text{ м}^3/\text{сек.}$, донный щит регулятора закрыт, вода в канал переливается через два шапдерных бруса. Получающееся при этих условиях распределение скоростей показано в таблице 12.

Таблица 12

Расстояние от щита (м)	Скорость (м/сек.)					
	средний			донная		
	левая сторона	ось	правая сторона	левая сторона	ось	правая сторона
8,85	0,43	0,30	0,29	0,23	0,13	0,09
13,85	0,45	0,24	0,30	0,29	0,15	0,09
18,85	0,49	0,28	0,23	0,45	0,13	0,05

¹ Отметки условные.

Из таблицы видно, что: 1) как средняя, так и донная скорости убывают в направлении от левой стенки к правой; 2) с увеличением расстояния от щита средняя и донная скорости у левой стороны увеличиваются, у правой—уменьшаются.

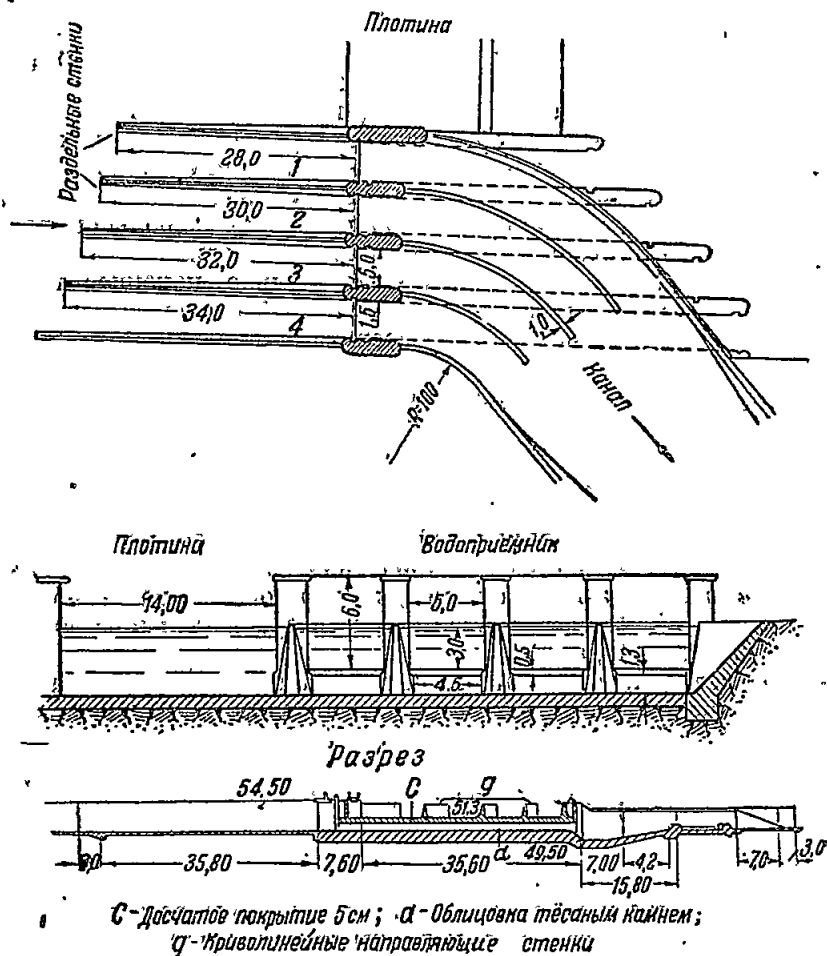


Рис. 116. Водоприёмник в Георгиевский канал.

Примерно та же неравномерность распределения скоростей как в плане, так и по вертикали наблюдалась в левой камере № 1 и при других условиях опыта: при открытии щита на $h=0,20$ м и расходе $Q=15$ м³/сек., при $h=0,50$ м и $Q=21$ м³/сек.

Левая камера № 4. Гидравлические исследования проводились при следующих условиях: водослив перекрыт шандорами, и вода в канал не попадает, донный щит регулятора открыт

на $h=0,20$ м при $Q=7,5$ м³/сек.

» $h=0,50$ » » $Q=14,5$ »

» $h=1,25$ » » $Q=26,5$ »

Исследования показывали, что забральная стенка, расположенная в плане под углом в 22° к линии щитов регулятора, создавая таким образом косой вход в камеры, даёт искривление потока, повышенную турбулентность и явление обратного поверхностного тока в камерах. Поток воды при входе в камеры отклоняется от правой стенки и проходит со значительно увеличенными скоростями вдоль левой. Эта картина особенно ярко выражена при пропуске больших расходов. Постепенное выравнивание скоростей происходит только по мере приближения к щитам регулятора. Сравнительно спокойное течение можно наблюдать в случае пропуска малых расходов, а также при малом числе снятых шандор с водослива и при закрытом донном щите.

Для правильной работы камер водоприёмника также чрезвычайно важное значение имеют условия подвода воды к водоприёмнику. В данном случае условия недостаточно благоприятны. Как выше указывалось, вдоль левого берега поток проходит с повышенными скоростями, и вследствие прижима его к левобережной дамбе и недостаточной длины прямолинейного подводящего русла между забальной стенкой левого регулятора и поперечником № 11 (рис. 115) создаются благоприятные условия для образования водоворотов и обратных течений (от забальной стенки вверх по течению до поворота оградительной дамбы).

Это может в значительной степени осложнить и ухудшить работу левого водоприёмника после подхода к плотине донных отложений.

Чтобы предотвратить эти явления (по заявлению исследователей), необходимо увеличить длину прямолинейного подводящего русла и провести регулировочные работы.

Осаждение наносов в камерах

Правая камера № 3. Изучение вопроса осаждения, взвешенных наносов проводилось при следующих условиях: водослив регулятора перекрыт шандорами, донный промывной щит также закрыт, имелась небольшая фильтрация воды через уплотнения. Характеристика мутности реки Чу в период настоящих исследований приведена выше.

При данных условиях исследованиями установлено, что осаждение взвешенных наносов в камере происходит довольно равномерно, хотя по мере удаления от забальной стенки к донному щиту толщина слоя отложившихся наносов несколько уменьшается, а в части, прилегающей к донному щиту, имеется участок с резко сниженной толщиной слоя, что объясняется наличием указанной выше фильтра-

ции. Толщина слоя отложившихся наносов за один месяц вегетационного периода в среднем равнялась 10—15 см, а на $\frac{1}{4}$ ширины поперечника № 11 (ближе к правому берегу, где скорость доходит до 0,10 м/сек.) толщина отложений равна 28 см в месяц. Расчетная скорость в камерах принята 0,33 м/сек.

Левая камера № 2. Донный щит регулятора закрыт. Величина пропускаемого расхода была не постоянна и изменялась от 4 до 9 м³/сек. Колебание расходов вызывало нарушение постоянства слоя отлагающихся наносов в камере. Средний месячный слой отложений в камере равнялся, примерно, 7 см. Столь незначительные отложения наносов в камерах объясняются отложениями их в бьефе, который ещё не заплен.

Фракционный состав отложившихся наносов в рассматриваемых камерах и на створе № 11 приведён в таблице 13.

Таблица 13

Фракции	1	2	3	4	5
Диаметр (мм)	> 0,25	0,25—0,10	0,10—0,05	0,05—0,01	< 0,01
Правая камера № 3	—	1,0	5,0	20,0	73,0
Левая камера № 2	0,5	9,0	38,0	27,0	25,5
Створ № 11	—	15,3	34,4	25,6	24,7

Как видим, отложения состоят преимущественно из мельчайших фракций (<0,1—0,05 мм). Для таких фракций скорости в отстойнике велики. Поэтому значительное количество взвешенных наносов попадает и в канал—до 0,55 г/л. Состав этих наносов, в основном, характеризуется следующими средними цифрами:

Фракции (мм)	0,25—0,05	0,05—0,01	< 0,01
Содержание (%)	47	47,5	65,5

Фракции >0,25 мм встречаются в единичных случаях в пределах 1—6%.

Промывка наносов

Промывка отложившихся в период наблюдений—с 15 июля по 9 октября 1934 г.—наносов в левой камере № 2 происходила при одновременной подаче воды в Атбашинский канал ($Q=4,5$ м³/сек.), что давало толщину переливающегося слоя через шандоры, равную 0,60 м. Правая камера № 3 промывалась при закрытых щитах регулятора.

Фракционный состав промываемых наносов левой камеры № 2 и правой № 3 показан в таблице 13.

Результаты промывки обеих камер показывают, что на промывку 1 м³ отложившихся наносов требуется чрезвычайно большое количество промывной воды.

Для выяснения действия промывки при значительных отложениях в камерах были проведены опыты при искусственной загрузке их наносами. Загрузка камеры была произведена слоем толщиной; примерно, в 0,6 м равномерно по всей площади камеры и с выносом загрузки выше линии забральной стенки на длину около 3 м. Общий объем загрузки камеры равен 105 м³. Фракционный состав загрузки был весьма разнообразен: диаметр частиц изменялся от 0,25 до 50 мм.

Распределение по фракциям было довольно равномерное.

Исследования промыва наносов при различном открытии донного щита и различной толщине переливающегося слоя воды на водосливе показывали, что при открытии донного щита промывной галерей меньше чем на 1,25 м в камере происходит, главным образом, лишь перемещение наносов, а не промыв. Чтобы передвинуть наносы от забральной стенки до призмы смыва у донного отверстия с очень небольшим выносом наносов в нижний бьеф, потребовалось около 4,5 млн. м³ воды.

Скорости в камере в период промывки при открытии донного щита на 1,25 м, т. е. в период самого интенсивного процесса промыва, в сечении, отстоящем на 17,85 м от донного щита, были равны: средняя 1,50 м/сек. и донная 1 м/сек.

Исследователи (лаборатория ГЭИ и САНИИРИ), идя по линии изыскания дополнительных устройств, увеличивающих транспортирующую способность потока в камерах, предложили устройство в плоскости забральной стенки дополнительного плоского щита. Лабораторные (ГЭИ) и опытные исследования в натуре (левая камера № 3 с искусственной загрузкой её) показали значительное сокращение времени промывки при применении таких щитов.

Для дальнейшего повышения интенсивности промывки и сокращения промывного расхода исследователи предложили, как возможное решение, применение внутри камер или одного передвижного плоского щита или нескольких стационарных съёмных щитов, расставленных на известных расстояниях вдоль длины камеры.

Мероприятием, могущим улучшить процесс промывки, является также создание некоторого перепада при входе в камеру во время промыва, что значительно увеличивает донную скорость.

Таким образом, условия водозабора и достаточно большие средние скорости в отстойнике (0,39 м/сек.) обусловили незначительное оседание в нём взвешенных наносов. Это объясняется ещё происходящим заилинием бьефа и в результате этого чрезвычайно мелкими фракциями, достигающими отстойника.

Промывка наносов оказалась совсем неудовлетворительной, вследствие малой пропускной способности донных отверстий при невозможности выключения отдельных камер на время промывки.

ОТСТОЙНИК КАНАЛА МАЛКА-КУРА

Общие сведения

Рассматриваемый отстойник входит в состав головного узла канала Терской обводнительно-оросительной системы. Головной узел сооружений расположен на реке Малка (приток Терека). Эта река протекает в пойме, ширина которой колеблется от 200 до 600 м.

В створе рассматриваемого узла сооружений ширина поймы равна 450 м.

Ширина действующего русла реки колеблется в пределах от 10 до 15 м, уклон дна равен, примерно, 0,004.

Насыщение потока взвешенными наносами (по материалам экспедиции ЗапНИИВХ 1937 г.) характеризуется следующими данными по Кормовской гидрометрической станции (выше узла сооружений):

Летом насыщение было равно	0,57%	по весу
Зимой » »	0,01%	» »
Среднегодовой	0,10%	» »

Для участка реки в районе узла получены данные о взвешенных наносах, показанные в таблице 14,

Таблица 14

Участок реки	Процент взвеси	
	максимальный	минимальный
Выше подпёртой зоны	0,80	0,05
В подпёртой зоне возле плотины	0,17	0,05

Донные наносы у головного сооружения по крупности не превосходят 10 мм. Выше подпёртой зоны дно выстлано мелкой и средней галькой при скорости течения, колеблющейся, примерно, в пределах 1,0—2,5 м/сек.

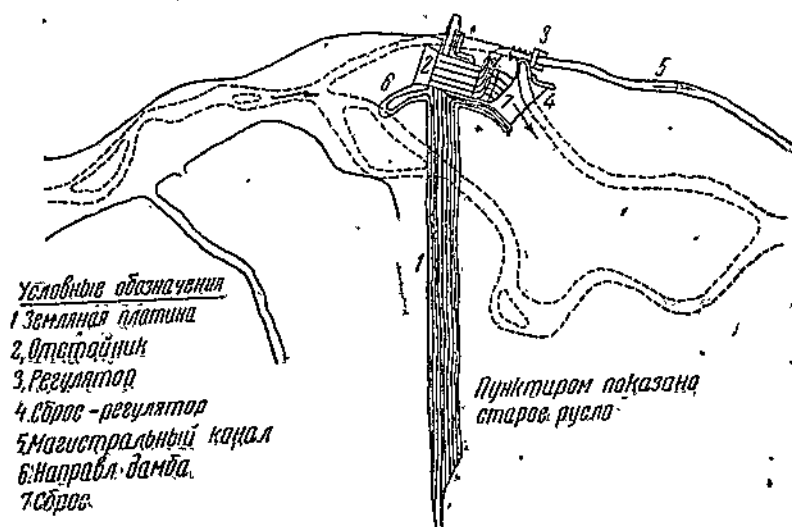


Рис. 117. Водозаборный узел канала Малка-Кура.

Узел головных сооружений, построенный в 1931 г., обеспечивает водозабор до 22 м³/сек. в магистральный канал Малка-Кура. В состав узла входят (рис. 117):

1. Глухая земляная плотина длиной 440 м и наибольшей высотой 5,5 м при максимальном напоре 4,52 м.

2. Пятикамерный отстойник (рис. 118), ось которого с осью плотины составляет угол 73° . Таким образом он расположен навстречу потоку. Приспособлений для регулирования пропуска воды в канал в отстойнике нет; промывные отверстия отстойника служат также и для сброса паводковых вод.

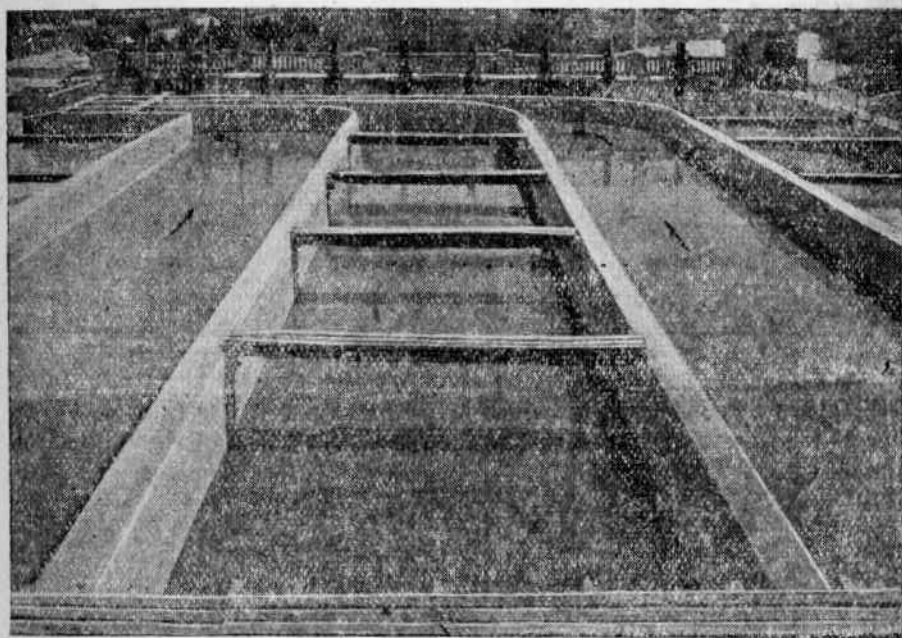


Рис. 118. Отстойные камеры в голове канала Малка-Кура (вид по направлению течения).

3. Головной регулятор магистрального канала, расположенный ниже отстойника и регулирующий подачу воды в канал.

4. Сброс—регулятор, расположенный непосредственно выше головного регулятора и служащий для сброса в нижний бьеф излишне пропускаемой отстойником воды.

Специального сбросного сооружения при плотине нет, что ставит отстойник в трудные условия как раз в наиболее важные периоды — в паводки, когда сброс приходится осуществлять через отстойник.

Компановка узла в целом характеризуется следующим. Перед отстойником русло реки было углублено до отметки входного порога и несколько расширено влево. Это необходимо было произвести, поскольку отстойник устраивался на острове. Основное русло несколько выше по течению сворачивало вправо и перегораживалось земляной дамбой. Поскольку отстойник расположен у левого берега

поймы, то для обеспечения плавности подхода воды к нему со стороны поймы (справа) устроена небольшая направляющая дамба, примыкающая к правой стенке отстойника. При этом дамба не перекрывает основного протока реки, идущего вправо от входа в отстойник (рис. 117). Это обстоятельство в дальнейшем существенно отразилось на условиях работы отстойника и самой дамбы, создав вблизи входа в него сильный свал воды с поймы при промывках отстойника, когда горизонт воды перед ним в это время резко снижается. Таким образом произошёл подмыв головы дамбы. Одновременно происходит смыл наносов с поймы и удлинение срока колыматации её, что недопустимо при сильно развитой здесь малярии.

Устроенная искусственно перед входом в отстойник широкая и достаточно глубокая выемка явилась первичным отстойником и была быстро занесена наносами, образовавшимися отмели, которые в дальнейшем затруднили промывку камер отстойника.

Короткий подпорный бьеф и выступающий в русло мыс на левом берегу несколько выше (по течению обусловили своеобразное направление течения перед отстойником — к голове направляющей дамбы (рис. 119), что в дальнейшем, вместе с другими факторами (свал воды с поймы), обусловило подмыв головы дамбы, плохую промываемость отложений перед отстойником и неблагоприятные условия подхода воды к нему (сбоку).

Основное и самое ответственное в узле сооружение, являющееся одновременно водоприёмником и сбросом, осуществлено в виде пятикамерного отстойника (рис. 120). На пропуск потребного расхода рассчитаны четыре камеры, одна является запасной и обычно выключается на промыв. Одновременно через одну из камер может сбрасываться расход сверх забираемого в канал в пределах до $52 \text{ м}^3/\text{сек.}$ при нормальном уровне в верхнем бьефе.

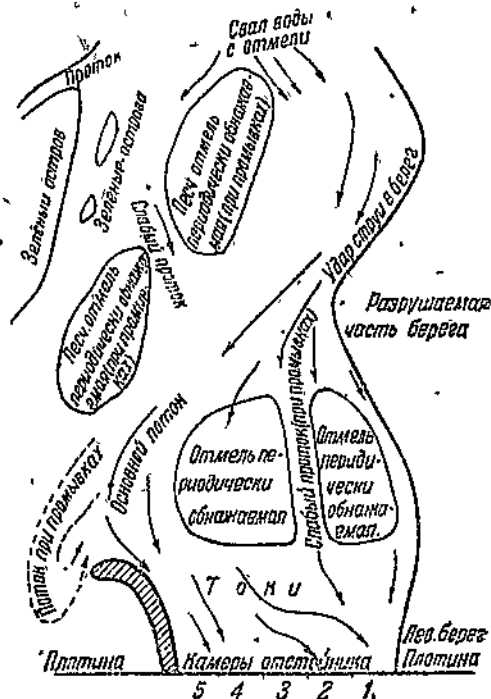


Рис. 119. Схема занесения наносами верхнего бьефа головного угла канала Малка-Кура.

Расчётная длина камер 45 м, ширина 6,3 м. При входе в камеры имеются пандоры и щиты. Эти последние пока установлены не на всех камерах. В период нашего посещения этого сооружения (1936 г.) был установлен только один щит в третьей (средней) камере. Для обеспечения достаточно больших скоростей к концу промыва камер (минимум 2,5 м/сек.) дну их придан продольный уклон 0,0095.

Отвод осветлённой воды осуществляется посредством железобетонных лотков, дно которых является раздельным полком и находится на глубине 1,60 м под нормальным уровнем подпёртого бьефа. Каждая камера имеет отдельный лоток. Лотки поворачиваются влево на 90° для сброса воды в подводящий к трёхпролётному регулятору железобетонный лоток. В конце лотков имеется перепад (рис. 121) и нет никаких регулировочных приспособлений, хотя бы в виде пандор. Это приводит к усиленному захвату наносов в канал при промывке камер без снижения уровня воды (когда расход в реке значителен). Под лотками имеются просветы по всей ширине камер высотой в 1,72 м, при выходе в нижней бьеф перекрываемые сегментными деревянными щитами и служащие для промыва камер и сброса лишней воды. Для направления промывного потока во вновь образованное русло в нижнем бьефе устроены криволинейные направляющие стенки, примыкающие к раздельным стенкам камер отстойника.

Пропускная способность донных отверстий отстойника рассчитана на сброс максимальных паводковых расходов (350 м³/сек.).

Условия и характер работы отстойника

Условия работы отстойных камер по осветлению потока характеризуются следующими ненормальностями: подход воды к камерам косой, вследствие отложений наносов в верхнем бьефе и неудачного направления основного потока (к голове направляющей дамбы). Это особенно резко проявляется при средних и малых расходах в реке (около 25 м³/сек.). Таким образом почти весь расход к отстойнику подводится со стороны направляющей дамбы, у левого берега имеется слабо выраженный проток (рис. 119). Этим определяется и характер потока в камерах — с водоворотными зонами (отжимом потока от боковых стенок) и неравномерностью распределения скоростей по сечениям и расходов по отдельным камерам, что усиливается ещё отсутствием сколько-нибудь заметного перепада при входе в отстойник: при наличии перепада все подводящие условия до известной степени сглаживаются, поскольку перепад является выравнивающим средством для направления потока.

Отсутствие в конце отводящих лотков (или в конце отстойных камер) регулировочных устройств (щитков, пандор) не даёт возможности выравнивать расход воды в камерах. По принятой схеме водоводора основное регулирование расхода воды в магистральном канале должно осуществляться промывными щитами отстойника и, точнее, щитами головного и сбросного регуляторов.

Учитывая большую сложность регулировки промывными щитами из-за медленности установления уровня при значительной относительно площади зеркала верхнего бьефа, эксплуатационные работники

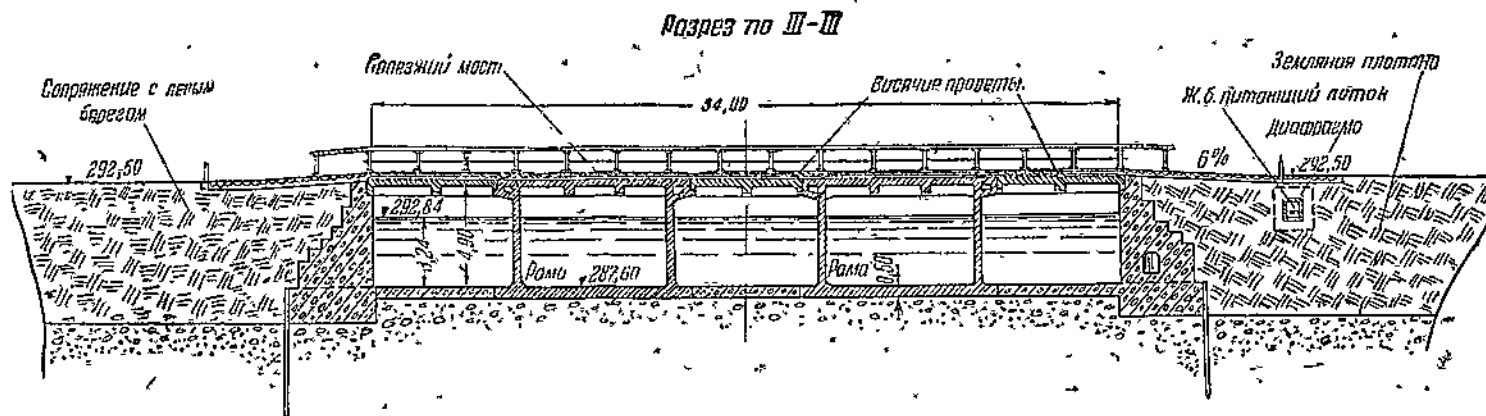
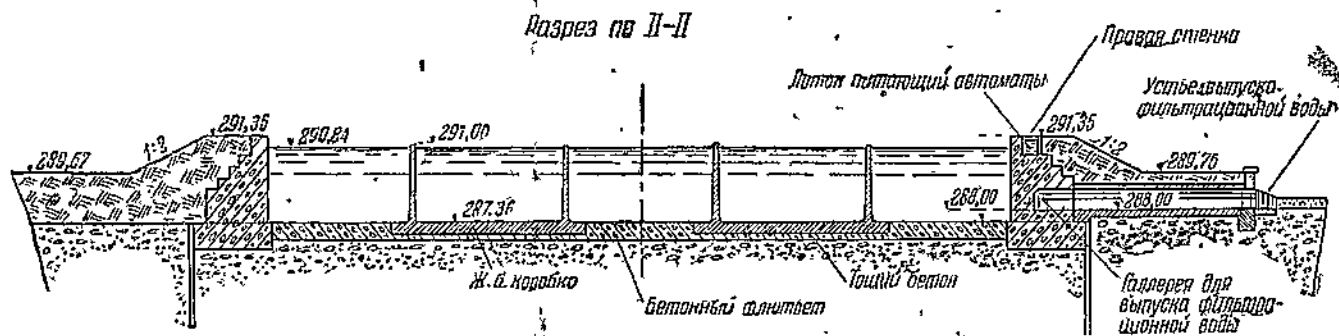
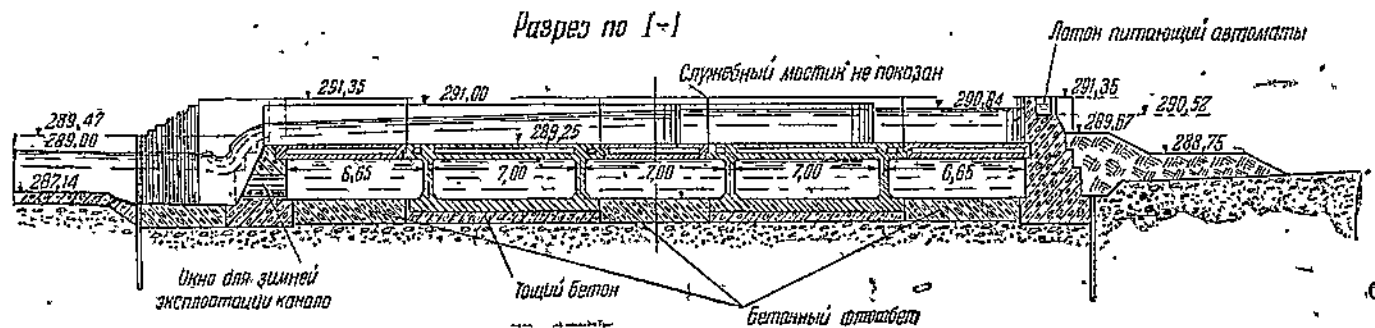


Рис. 1206, в. Поперечный разрез по отстойнику канала Малжа-Кура.

чаще пользуются для этого сброшенным регулятором; забирая излишний расход воды через отстойник, что ухудшает отстой воды в них. В связи с создавшимися условиями подхода потока, заплывание отдельных камер неравномерное. Вследствие более сильного влечения наносов возле направляющей дамбы (по стрелке потока) ближайшие к ней камеры (№ 4 и 5) заплываются значительно быстрее и наносы здесь также крупнее, чем в камерах № 1—3. По исследованиям МГМИ в 1936 г., пробы отложений, взятые 24 августа, показали содержание фракций крупнее 0,3 мм:

В камере № 1 не выше	4,4%
» » № 5 до	82,8%

Промывка одной из камер резко нарушает установившееся состояние, указанное выше. Вследствие увеличения скоростей подхода к промываемой камере, начинается усиленное влечение и замучивание наносов в области подхода к ней. В результате соседние с промываемой камеры начинают более интенсивно заноситься наносами. При этом и состав отлагающихся в них наносов резко изменяется в сторону укрупнения фракций.

Нарушение условий подхода потока при промывке одной из камер отражается также и на характере потока во всех камерах отстойника и особенно в соседних с промываемой: появляются резко выраженные отжимы потока и водовороты у бортов с одной стороны и повышенные скорости с другой. Таковы условия работы отстойника, не имеющего стабилизирующих вход в него устройств в виде аванкамеры или иных средств.

Промыв наносов из камер при отсутствии цитов в начале их требует значительного расхода воды (52 м³/сек.) и сопровождается обычно промывкой наносов и из верхнего бьефа. На промыв камеры требуется незначительное время (7—12 минут), но при заплывшем бьефе обычно камеры не удаётся промыть полностью, в них остаётся слой наносов до 1 м.

При одновременной же промывке и бьефа длительность промыва камеры достигает 1½—2 часов. При этом, если расход воды в реке меньше суммы расходов магистрального канала и промывного, то промыв сопровождается сработкой верхнего бьефа, в связи с чем расход в магистральном канале постепенно уменьшается; и может произойти полное выключение канала при снижении уровня до отметки дна отводных лотков отстойных камер. При расходе в реке около 25 м³/сек. выключение канала наступает довольно скоро после начала промывки камеры (примерно; через 30—40 минут). Но, чем больше расход в реке, тем медленнее будет происходить сработка бьефа и тем дольше канал не будет выключен. При известных расходах в реке, когда уровень в верхнем бьефе во время промывки не может спуститься ниже дна отводных лотков, магистральный канал будет получать воду из всех камер отстойника, в том числе и из промываемой, поскольку уровень в ней будет выше дна отводных лотков. Питание магистрального канала через промываемую камеру происходит и при малых расходах в реке, пока уровень

в верхнем бьефе не будет сработан до отметки дна отводных лотков, поскольку, при выходе из отстойника нет устройств, позволяющих выключать отдельные камеры на время их промывки или во время сброса через них излишних вод (рис. 121). Это обстоятельство приводит к значительному поступлению наносов в канал при промывках камер.

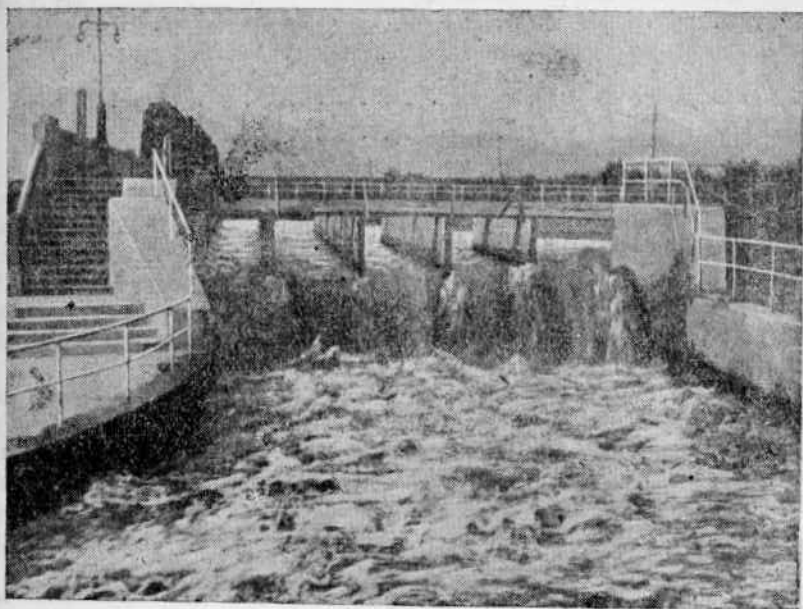


Рис. 121. Отводные лотки отстойника Малка-Кура.

С другой стороны, промывки при малых расходах в реке приводят к частым выключениям канала или, во всяком случае, к снижению расхода в нём, что по условиям водоснабжения системы не всегда представляется возможным. Поэтому нередки случаи, когда приходится задерживать промывку камер, несмотря на то, что они забиваются наносами до предела (до дна отводных лотков) и уже накопления наносов в них не происходит. Тогда канал получает совершенно неосветлённую воду.

Попытка произвести промыв камер при относительно небольшом расходе воды в реке ($25 \text{ м}^3/\text{сек.}$), при неполном открытии промывного щита (сегмента), в целях экономии воды и поддержания уровня в верхнем бьефе, привела к сильному завлечению в камеру наносов из верхнего бьефа, которые проникли в большом количестве в отводной лоток и даже частично там отложились. Впоследствии они смываются в канал.

Много наносов поступает в канал и во время сброса излишней воды через отстойник. При эксплуатации сброс воды производится

сразу через несколько камер (2—3), хотя сбрасываемый расход мог бы с успехом быть пропущен одним промывным отверстием. Это делается, повидимому, из таких соображений. При сбросе через одну камеру будет происходить взмучивание наносов при усиленном завлекании в неё наносов из верхнего бьефа. Необходимость подачи воды в канал не допускает сработки бьефа и выключения канала. Поэтому для уменьшения скоростей воды в камерах отстойника и предотвращения взмучивания наносов сбрасываемый расход и распределяется между несколькими камерами.

В связи с этим и намечена установка щитов в начале камер. Опыт эксплуатации третьей камеры, где щит в начале её был установлен в 1936 г., показал, что промывной расход и длительность промывки в этом случае могут быть значительно сокращены, по сравнению с таковыми в других камерах, не имевших щитов в начале.

По специальным исследованиям МГМИ (1936 г.) установлено, что при промывном расходе в $4,2 \text{ м}^3/\text{сек.}$ третья камера была промыта в 15 минут без нарушения работы остальных камер, поскольку на промыв был взят расход, примерно, равный расходу, подаваемому в канал каждой из остальных камер.

При промывном расходе $2,8 \text{ м}^3/\text{сек.}$ длительность промывки была 30 мин.

» » » 1,7 » » » 40 »

При этом промываемая камера полностью отключалась, поскольку уровень в ней при промывке был значительно ниже дна отводного лотка, и, таким образом, в канал не допускалась сильно замутнённая вода, как это имело место при промывке прочих камер, не имевших щитов в начале.

Следовательно, щиты в начале камер создают большую оперативность водозаборного узла, позволяя в нужные моменты экономить воду, обеспечивая подачу в канал максимально возможного при данных гидрологических условиях расхода воды, в то же время не препятствуя промывке верхнего бьефа в благоприятные для этого моменты.

Следует отметить, что длительность поднятия щитов в камерах (сегментный затвор поднимается в течение 25 минут), по сравнению с необходимым временем для промывки самой камеры, велика, что осложняет эксплуатацию и приводит к излишнему сбросу воды, весьма нежелательному при малых расходах в реке.

Для зимней эксплуатации канала в конце первой камеры отстойника имеется окно для выпуска воды непосредственно в колодец перепада, минуя лотки.

В связи с изложенными условиями эксплуатации отстойника происходит усиленное заиливание Курского водохранилища, в которое сбрасывается вода из магистрального канала Малка-Кура. Из самого магистрального канала длиной в 33 км ежегодно вынимается 35—70 тыс. м^3 наносов, несмотря на достаточно большие скорости течения в нём— $0,7—1,0 \text{ м/сек.}$

рассчитано на пропуск $395 \text{ м}^3/\text{сек.}$ Расход сверх этого (до $255 \text{ м}^3/\text{сек.}$) сбрасывается через промывные отверстия отстойника, что может случаться очень редко. В этом отношении отстойник Баксан-Малка имеет существенное преимущество, по сравнению с отстойником Малка-Кура, где нет специального сброса при паводке.

Сбросное сооружение предназначается также для промывки наносов из верхнего бьефа, что должно облегчить условия работы отстойника.

Отстойник рассчитан на осаждение частиц крупнее $0,25 \text{ мм}$, которых содержится в потоке около 28% от общего количества взвешенных наносов. Скорость в отстойнике принята в $0,25 \text{ м/сек.}$ При нормальной глубине в отстойнике 3 м общая рабочая ширина его должна составлять 33 м . Отстойник принят четырёхкамерным при ширине камеры в 11 м , одна из камер запасная и находится на ремонте или на промывке. Длина камер принята в 45 м . Уклон дна их составляет $0,018$, что обеспечивает необходимую скорость 3 м/сек. при промывке наносов.

Промывной расход принят в $15 \text{ м}^3/\text{сек.}$ из расчёта промывки камеры в 15 минут при содержании наносов в промывном потоке в 1% по объёму. Объём отложений за сутки в одной камере числен в 247 м^3 из расчёта на выпадение только фракций крупнее $0,25 \text{ мм}$, что является преуменьшённым, так как будет иметь место выпадение и более мелких частиц; находящихся в нижних слоях потока.

Конструктивно камеры отстойника оформлены следующим образом.

При входе в камеры имеется порог высотой в 1 м , возвышающийся над порогом шлюза также на 1 м (рис. 123). В целях облегчения бетонного покрытия дна отстойных камер в конце понура устроен об-

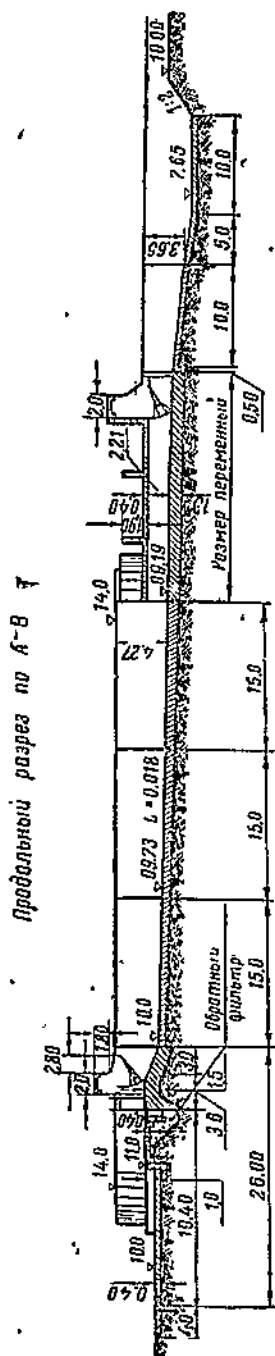


Рис. 123. Отстойный бассейн в голову канала Баксан-Малка (продольный разрез).

ратный фильтр со сборной галлереей, отводящий фильтрационную воду в нижний бьеф. Галлерей выведена в потерну речной стенки отстойника, откуда вода и сбрасывается в нижний бьеф. Вход в каждую камеру перекрывается двумя сегментными щитами $5,25 \times 2,70$ м.

Основные бычки, продолжением которых являются раздельные стенки камер, бетонные, толщиной в 1 м, промежуточные бычки железобетонные толщиной в 0,5 м. Дно камер покрыто бетоном толщиной в начале 0,65 м, в конце 1,30 м.

В конце отстойных камер имеется приёмный железобетонный лоток для отвода осветлённой воды из поверхностных слоёв. Этот лоток имеет раздельные криволинейные стенки, являющиеся продолжением раздельных стенок отстойных камер. Эти стенки направляют поток к регулятору, расположенному в голове магистрального канала и в конце раздельных стенок лотков.

Под отводящим лотком устроены донные галлерей для промыва наносов и сброса излишних паводковых вод, перекрытые в нижнем конце сегментными щитами. Каждая камера имеет две галлерей высотой 2,21 м, шириной 5 м. Промывные галлерей имеют изгиб вправо по течению для отклонения потока от левого берега, где устроена дамба, ограждающая магистральный канал.

Для питания в зимний период устроены под отводящим лотком левой камеры специальные отверстия, рассчитанные на пропуск $12,5 \text{ м}^3/\text{сек}$. Порог этих отверстий находится на уровне дна камер в начале донных галлерей. Всего имеется 4 отверстия размером в $1,5 \times 2,0$ м каждое.

В процессе осуществления головного сооружения (до его окончания) магистральный канал был пущен в частичную эксплуатацию без возможности регулирования режима потока. В результате верхний бьеф и отстойный бассейн оказались занесёнными камнями крупностью до 20—30 см. В каждой камере оказалось до 250—300 м^3 камней. Магистральный канал оказался также сильно занесённым наносами; и воду, до приведения в надлежащее состояние водоприёмника; приходилось забирать через отстойник путём устройства захватных шпор. Опыт преждевременного пуска в эксплуатацию оказался неудачным.

Глава XI

МНОГОКАМЕРНЫЕ ОТСТОЙНИКИ, ВРЕЗАННЫЕ В БЕРЕГ ОТСТОЙНИК БАКСАНСКО

Баксанская гидростанция расположена на реке Баксан, притоке реки Малки.

Основные данные Баксанской гидроустановки следующие.

Общая установленная мощность	25.000 кВт
Минимальная мощность	5 500 кВт
Возможная годовая выработка	137,5 м. кВтч.
Напор нетто	89,4 м
Расчётный расход	35 $\text{м}^3/\text{сек}$.
Минимальный расчётный расход	8 $\text{м}^3/\text{сек}$.

По гидравлической схеме Баксанская гидростанция является обычной средненапорной деривационной гидроустановкой.

Река Баксан образуется из слияния нескольких ледниковых источников горы Эльбрус, в силу чего ей свойственны все резко выраженные черты обычной горной реки ледникового питания, а именно: паводковые расходы проходят летом—в период наиболее интенсивного таяния ледников, и, наоборот, максимальные расходы проходят зимой; кроме того, Баксан, как горной реке, свойственны внезапные, кратковременные и нередко исключительные по своей разрушительной силе ливневые паводки. Максимальный расход, наблюденный на реке Баксан, равен $300 \text{ м}^3/\text{сек}$, минимальный зимний равен $8 \text{ м}^3/\text{сек}$, максимальный расчётный расход принят в $700 \text{ м}^3/\text{сек}$. Средний годовой сток реки Баксан равен 1 090 млн. м^3 , а процент использования его при мощности станции в 25 000 квт и при расчётном расходе в $35 \text{ м}^3/\text{сек}$, равен 63%.

По твёрдому стоку имеются трёхлетние наблюдения, на основании которых можно констатировать следующее: ложе реки Баксан обладает значительной подвижностью, наибольшее содержание наносов в потоке наблюдается в период июль—август, содержание их в зимнее время почти совершенно отсутствует, максимальное содержание наносов по весу 0,53%.

Главной составной частью взвешенных наносов являются глинистые частицы (70—88%), содержание песка в составе взвешенных наносов возрастает с увеличением расхода воды в реке и, таким образом, с увеличением её мутности. По донным наносам данных не имеется.

Узел головных сооружений БаксанГЭС состоит из плотины; сифонного водослива и трёхкамерного отстойного бассейна (рис. 124).

Плотина имеет два пролёта по 18 м, перекрытые цилиндрическими затворами с передним щитом.

При пропуске катастрофического паводка отметка (условная) горизонта верхнего бьефа обстаётся нормальной—53,31 м, глубина реки у плотины 3,6 м и скорость 4,5 м/сек. Порог флютбета плотины возвышается над дном реки, примерно, на один метр и имеет отметку 48,08 м.

Для обеспечения равномерного распределения скоростей в отстойнике необходимо было подвести воду к нему без изгиба потока.

Как видим из рисунка 124 эти условия в Баксанском отстойнике не вполне соблюдены. Входной порог водоприёмника расположен по линии естественного берега, и с осью плотины он составляет угол около 100° , вследствие чего перед входом в отстойник пришлось создать аванкамеру. В целях борьбы с попаданием донных наносов в аванкамеру отметка входного порога её (52,06 м) поднята на 4 м выше отметки порога плотины (48 м). Поскольку входная часть (аванкамера) имеет значительные размеры в плане (площадь дна её превышает $2\,500 \text{ м}^2$, а общая площадь камер отстойника равна, примерно, $2\,800 \text{ м}^2$); необходимо было дно её поднять с тем, чтобы скорость течения при пропуске расчётного расхода (в $35 \text{ м}^3/\text{сек}$.) была ещё достаточно большой. В данном случае глубина воды в пре-

делах аванкамеры принята в 4,25 м, что обеспечивает скорость только в 0,6 м/сек. В результате аванкамера заносится наносами, удаление которых весьма сложно.

Чтобы достигнуть наилучшего выравнивания скоростей по ширине камер, непосредственно перед входом в отстойник устроены довольно длинные направляющие стенки (по 20,3 м) по 2 на каждую камеру. Кроме того, на такую же длину выдвинуты, вперёд отдельные стенки камер отстойника. Таким образом вход в камеры разделён на пролёты шириной по 4,55 м. В целях возможности выключения любой секции отстойника из работы во входной части последних предусмотрено устройство деревянных шандор. Дно отстойника углублено на 3 м, по сравнению с дном аванкамеры.

Сопряжение дна аванкамеры с дном отстойника произведено довольно пологим откосом—1:5,8. Для лучшего выравнивания скоростей по глубине камер в начале отстойника, тут же за сопрягающим откосом, установлена успокоительная решётка из горизонтальных деревянных брусков (20×20 см) с просветом между ними в 20 см. Рабочая часть камер отстойника имеет длину 70 м, ширину 13,51 м и уклон дна $i=0,01$.

Скорость воды в отстойнике получается равной 0,20—0,25 м/сек., что, предполагается, обеспечит выпадение фракций наносов крупнее 0,05—0,10 мм.

В деривационный канал вода из отстойника поступает через устроенный в конце камер водослив с отметкой гребня 52,50 м. Выходные отверстия на водосливе перекрыты шестью сегментными затворами.

Промыв отложившихся наносов из отстойника производится гидравлически посредством 12 промывных каналов в конце отстойника. Каждая пара промывных каналов перекрыта одним плоским щитом, приводимым в действие одновременно с верхним сегментным затвором и одной и той же лебёдкой. Промывной расход одной камеры равен 27—31 м³/сек., что при принятом уклоне дна отстойника, равном 0,01, даёт промывные скорости порядка 2,50—4,50 м/сек.

Промыв наносов, отложившихся в верхнем бьефе, предусмотрен путём поочерёдного открытия одного из цилиндрических затворов плотины. В целях увеличения скорости течения в период промыва перед щитовыми отверстиями плотины построена специальная раздельная стенка длиной 80 м.

ОТСТОЙНИК ПРИ ГОЛОВНОМ СООРУЖЕНИИ ЧИРЧЫКСКИХ ГЭС

Узел головных сооружений чирчкских ГЭС расположен в среднем течении реки Чирчик (правый приток Сыр-Дарьи). Этот участок имеет все признаки типичной горной реки, а именно: неравномерность расходов воды, зависящих от величины и силы таяния горных снегов и ледников, наличие значительного количества твёрдого стока и пути в течение зимнего времени. Участок реки в месте расположения головного узла сооружений имеет крутую излучину, которая даёт возможность удобно расположить водоприёмник и

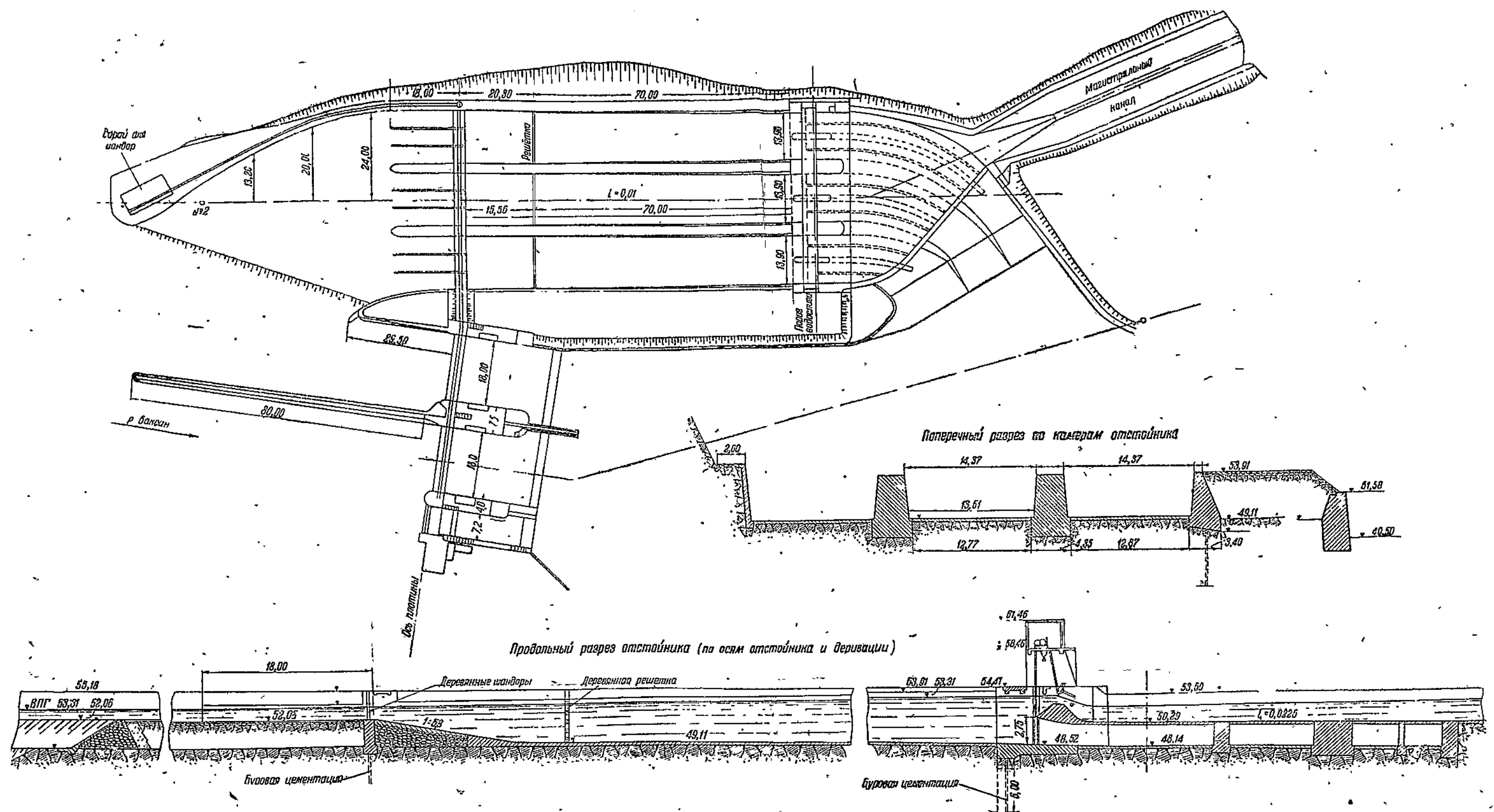


Рис. 124. Отстойный бассейн Нижней Связьской ГЭС.

значительно облегчает борьбу с попаданием донных наносов в устойчивый бассейн. Створ узла головных сооружений расположен в низовом конце излучины, где правый берег образует пологий склон и основной поток реки меняет направление, поворачивая от правого берега к левому. Сравнительная высота берега выбранного створа ограничивает длину фронта сооружений. Продольный уклон реки в этом месте 0,003, наименьшая отметка дна выбранного створа (условная) 67 м, средняя отметка дна 69,0—69,50 м. Бассейн реки Чирчик до узла годовых сооружений равен, примерно, 11 150 км².

За период наблюдений (1901—1934 гг.) годовой сток реки изменялся в пределах от 12,3 млрд. м³ до 4,3 млрд. м³, средний годовой сток за весь период наблюдений равен 7,5 млрд. м³. Обычные паводковые расходы равны 800—900 м³/сек., средний низший расход 90,0 м³/сек., среднесуточный минимальный расход в зимний период равен 30 м³/сек., что соответствует отметке горизонта в верхнем бьефе 69, 23 м. Средний горизонт весеннего паводка 71,50, наивысший среднесуточный горизонт (при расходе 1 620 м³/сек.) 72,41. Катастрофический расход принят равным 2 300 м³/сек.

Что касается взвешенных наносов, то по ним имеются следующие данные:

1. Средний многолетний сток за период 1901—1933 гг. составляет 2 160 000 т.
2. Средний многолетний расход равен, примерно, 69 кг/сек.
3. Максимальный годовой сток наносов определен в 6 млн. т, при этом максимальный секундный расход наносов равен 2 200 кг/сек.
4. Среднегодовая мутность в многоводный год равна 0,65 г/л, в маловодный 0,17 г/л.

Наибольший сток взвешенных наносов (90% от годового стока) проходит в период прохождения максимальных летних расходов (апрель—сентябрь) или в период наиболее интенсивного таяния горных снегов и ледников. Также следует отметить, что сток взвешенных наносов тем больше, чем резче и интенсивнее паводок. Что касается фракционного состава взвешенных наносов, то в их общем количестве наблюдается преобладание мелких фракций; в дни же прохождения паводков процент частиц крупных фракций (более 0,4 мм) возрастает до 30%.

Донные наносы: измеренный годовой сток для многоводного года 125 000 м³, для среднего года 50 000 м³.

В виду ответственности сооружения расчетный годовой сток донных наносов принят равным 1 млн. м³, что составляет 20% от количества взвешенных наносов и 0,1% от жидкого стока среднегодового года.

Что касается фракционного состава донных наносов, то фракции крупнее 25 мм составляют свыше 70%. Влечение донных наносов в реке начинается при расходе больше 450 м³/сек. и прекращается при расходе в 300 м³/сек.

Значительные скорости течения реки Чирчик даже в период самых суровых зим не дают возможности образования на реке сплошного ледяного покрова. Это обстоятельство, в свою очередь, способ-

ствуется наиболее интенсивному образованию шуги (донный лёд), которая и является характерным и чрезвычайно неблагоприятным фактором зимнего режима реки Чирчик. В силу этого борьба с шугой на чирчикских ГЭС является вопросом чрезвычайной важности и остроты. Процесс образования шуги происходит в период прохождения расходов в пределах от 50 до 100 м³/сек. Суммарный объём шуги, подходящий к главному узлу сооружений, в течение зимы может достигнуть 100 млн. м³.

Чирчикское строительство имеет комплексное назначение—гидроэнергетика и ирригация.

Гидравлическая схема использования реки Чирчик состоит из общего низконапорного узла головных сооружений и общей деривации, на которой последовательно расположено несколько гидроэлектростанций. Необходимые расходы воды на ирригацию забираются через специальные ирригационные выпуски из деривационного канала и напорных бассейнов гидроэлектростанций.

Гидростроительство имеет следующие основные показатели:

Установленная мощность первых трёх гидроэлектростанций (Таванской, Комсомольской и временной)	173 000 квт
Средний уклон реки	0,004
Падение используемого участка	76 м
Нормальная подпорная отметка верхнего бьефа	78 м
Расчётный расход деривации нормальный	260 м³/сек.
» » » минимальный	50 »
» » » форсированный	285, »

В функции головного узла сооружений входит пропуск значительных паводочных расходов, обеспечение забора необходимого расхода воды в деривацию и очищение воды от наносов.

В состав головного узла сооружений входит разбортчатая плотина, водоприёмное сооружение, с прилегающим к нему шестикамерным отстойным бассейном, и земляная дамба, сопрягающая щитовую плотину с левым берегом (рис. 125).

Плотина имеет пять пролётов по 14 м, перекрытых плоскими металлическими щитами, автоматически поддерживающими нормальный подпорный горизонт верхнего бьефа. Высота щита вместе с верхним клапаном автоматического действия равна 7 м. Порог щитовой плотины заложен на отметке, превышающей среднюю отметку дна реки на 1,50—2,0 м. Отверстия плотины рассчитаны на пропуск катастрофического паводкового расхода в 2 300 м³/сек. при отметке нормального подпорного горизонта верхнего бьефа 78 м. Величина напора, считая над порогом щитовой плотины, 7 м.

Клапаны щитов плотины, кроме автоматического регулирования горизонта верхнего бьефа, предназначены также для пропуска через плотину плавающих тел.

Водоприёмное сооружение (рис. 126а, б) примыкает к правому устью плотины и составляет с её осью угол в 115°. С правой стороны

вместо обычных щитов предусмотрен один аварийный затвор, устанавливаемый с помощью крана (рис. 126в).

Из конструктивных соображений дно галлерей в начале, до щитов, горизонтально, а за щитами имеется уклон в 0,076. В целях предохранения от истирания наносами, дно и стенки галлерей (на высоту 1,2 м) облицованы чугунными плитами.

Входные отверстия каждой отстойной камеры разделены на 2 пролёта по 7,65 м, высотой в 3 м; перекрываемых плоскими щитами.

Для уменьшения высоты щитов порог в месте их расположения несколько приподнят (на 0,6 м), а сверху установлена забральная стенка. По фронту сооружения установлена забральная железобетонная стенка, погруженная под нормальный подпорный горизонт на 0,7 м, так что остаются просветы до порога в 3,8 м, перекрытые грубыми решётками, снимаемыми снизу. Непосредственно за забралом идут пандорные ряды.

За линией щитов на расстоянии 7 м расположена успокоительная металлическая решётка из двух рядов спиц из уголкового железа $60 \times 60 \times 6$, поставленных в шахматном порядке (рис. 126в). Решётка поворотная и может быть поднята с помощью катучего крана как на время промыва, так и зимой.

Отстойные камеры имеют длину в 130 м от конца флютбета водоприёмника. Три камеры, ближайшие к плотине, имеют несколько большую длину флютбета из-за устройства в нём галлерей.

Расстояние между осями раздельных стенок камер 20,80 м, что при толщине их поверху в 1 м даёт ширину камер вверху 19,80 м. Внизу стенки утолщаются до 2,4—3,0 м и представляют одно целое с фундаментными плитами, разрезанными по оси камер. Таким образом, ширина основания стенок равна 20,8 м.

Для предупреждения против всплывания днища камеры пригружаются песчано-каменным заполнением, покрытым сверху бетонными плитами.

Для улучшения условий промывки камер в них устроены продольные раздельные стенки высотой в 2 м.

Глубина камер при нормальном подпорном горизонте изменяется от 5,9 м в начале до 8,5 м в конце при уклоне дна 0,02. Таким образом, скорость воды в камерах меняется при работе всех камер:

при нормальном расходе $260 \text{ м}^3/\text{сек.}$ от $0,38 \text{ м/сек.}$ до $0,26 \text{ м/сек.}$;

при форсированном расходе $285 \text{ м}^3/\text{сек.}$ от $0,41 \text{ м/сек.}$ до $0,29 \text{ м/сек.}$;

при отсутствии отложений наносов.

При отложениях она колеблется в пределах $0,4—0,5 \text{ м/сек.}$

Указанные размеры отстойника приняты из расчёта осаждения наносов крупнее $0,4 \text{ мм.}$

Среднее максимальное количество наносов, осаждающихся в отстойнике за сутки при расходе воды в $260 \text{ м}^3/\text{сек.}$, составляет $6,000 \text{ м}^3$. Этот объём и был принят в качестве запасного для отложений в одной

камере. При шести камерах, следовательно, такой объем в одной камере отложится за шесть суток. В связи с этим промывка каждой камеры предусматривается один раз в 6 дней.

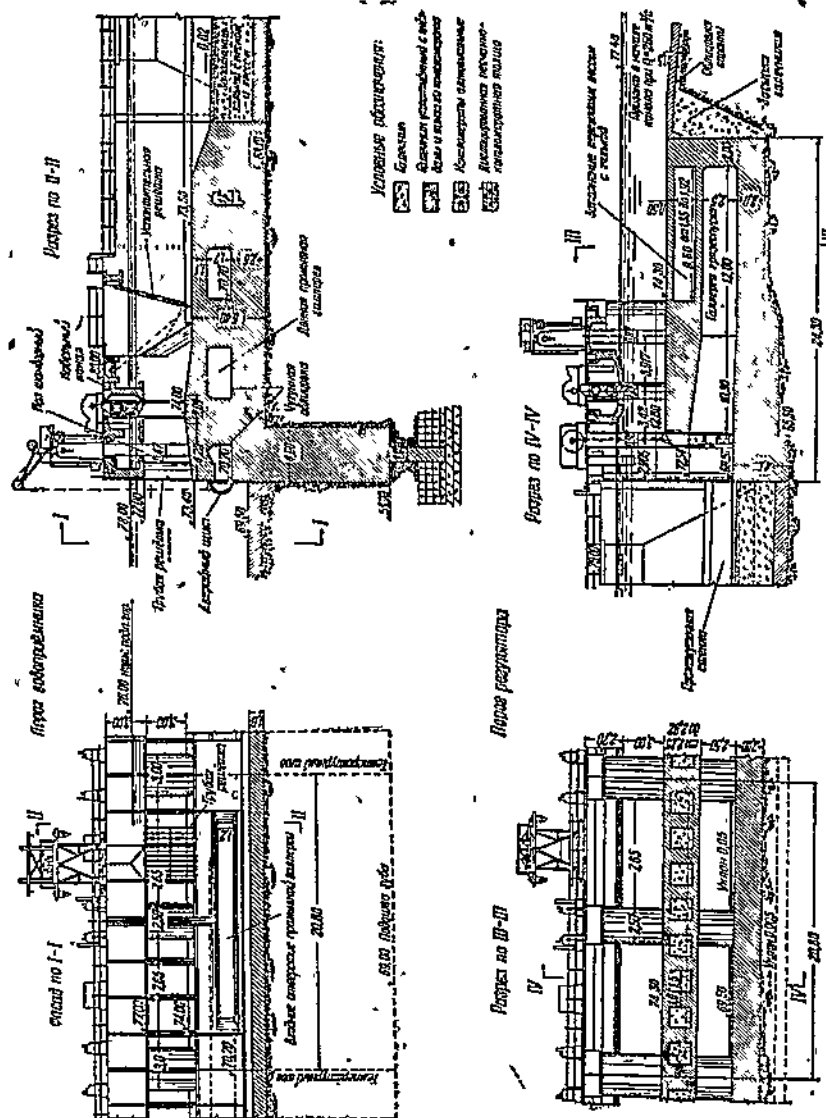


Рис. 126в. Водопрямные устройства отстойного бассейна Чирчинской ГЭС.

Отводное устройство отстойника одновременно является и регулирующим.

Высота порога этого регулятора 4,8 м. Каждая камера имеет два отверстия регулятора пролётом в свету по 7,65 м. Отводные

отверстия сверху ограничены забралом; там просвет в высоту равен 3 м.

Основные бычки регулятора, являющиеся продолжением раздельных стенок, припаты толщиной по 3 м, а промежуточные по 2,5 м. В пролётах регулятора установлены щиты с отдельными подъёмниками и шандоры, обслуживаемые общим краном. Сопряжение регулятора с каналом осуществлено посредством воронки длиной в 80 м. Откосы воронки 1 : 1 $\frac{1}{2}$. Дно и откосы воронки покрыты железобетонной облицовкой толщиной в 0,25 м, без температурных швов.

Для промыва наносов из камер в выходном пороге каждой камеры устроены по два отверстия пролётом по 7,65 м (как и пролёты регулятора) и высотой по 3,4 м.

Отверстия эти ведут в поперечную донную галерею грязеспуска, высотой 2,5 м, шириной 12 м и с уклоном дна 0,005.

Промывные отверстия перекрыты плоскими щитами специальной конструкции, предусматривающей возможность поднятия их при занесении наносами.

При выходе промывной галереи в канал предусмотрено шандорное закрытие.

Грязевой канал длиной в 300 м отводит гидромассу в нижний бьеф плотины.

Ширина по дну этого канала 10 м, уклон 0,005.

В проекте процесс промыва камеры отстойника намечен следующий:

1) опускаются соответствующие щиты водоприёмника и регулятора;

2) открываются щиты донных отверстий грязеспуска, и вода из камеры выпускается;

3) приоткрываются входные щиты водоприёмника для пропуска в камеру воды с большой скоростью из-под щита; наносы попадают в грязеспуск, где частично отлагаются, так как уклон его меньше уклона дна камер; это ухудшает промыв камер, так как создаёт подпор;

4) для удаления наносов из грязеспуска открываются входные щиты водоприёмника полностью, и камера затопляется; тогда грязеспуск промывается под напором; увеличенный расход воды промывает канал, где также возможно отложение наносов;

5) после промыва наносов закрываются щиты донных отверстий и открываются щиты регулятора.

На основании лабораторных исследований НИИГ установлен необходимый удельный расход воды на промыв 1 м³ наносов в 100—150 м³.

Для обеспечения правильной работы грязевого канала в нижнем бьефе плотины предусмотрены регулировочные работы по длине 1,5 км, предназначенные одновременно и для защиты правого берега Чирчика.

Мероприятий по борьбе с шугой здесь не рассматриваем.

Аджарис-Цхальская гидростанция расположена на реке Аджарис-Цхали (приток реки Чорох). Установка деривационная; нормальный расчётный напор 46 м. Установленная мощность—два агрегата по 12 000 л. с.

Расчётный катастрофический расход реки Аджарис-Цхали принят равным 2 500 м³/сек. При этом отметка горизонта верхнего бьефа (условная) равна 59,7 м при закрытых отверстиях промывного шлюза и 59 м—при открытых. Расчётный расход деривации равен 45 м³/сек., что соответствует пятидесятичному расходу за средний год.

Схема сооружений Аджарис-Цхальской гидроустановки состоит из головного узла сооружений, деривации и стационного узда.

В состав головного узла сооружений входят (рис. 127): невысокая, глухая водосливная плотина, водоприёмник с трёхкамерным отстойником, имеющим гидравлический промыв, промывной шлюз и струенаправляющие выправительные сооружения.

Плотина имеет длину в 106 м, отметку гребня 55,0 м и служит только для обеспечения водозабора. Она представляет собою трёхступенчатый перепад с водобойными колодцами, выполненными из габионов, залитых с поверхности цементным раствором на глубину в 40—60 см. Сверх габионов уложен слой бетона толщиной в 30—40 см. Во избежание разрушения от неравномерной осадки тела плотины бетонный слой разбит на отдельные блоки (6×6 м) с толевой прокладкой между ними. Подпор, создаваемый плотиной, колеблется в пределах 5—9 м.

Промывной шлюз плотины (рис. 128а), примыкающий к отстойнику, служит для пропуска паводка и промывки донных наносов перед порогом водоприёмника. Шлюз имеет два щитовых отверстия, шириною по 7 м каждое, перекрываемые впервые применяемыми в СССР плоскими, ригельной конструкции, двоянными колёсными металлическими щитами гильотинного типа. Конструкция щитов указанного типа даёт возможность одновременно производить два действия: опусканием верхнего щита—сбрасывать верхние слои воды с плавающим в них мусором и льдом, поднятием нижнего щита—производить сброс нижних слоёв воды и промыв отложившихся наносов. Щиты подвешены на цепях Галля. Отметка порога промывного шлюза равна 50 м. Во избежание истирания донными наносами флютбета шлюза и низа быков предусмотрена каменная облицовка из твёрдой породы на анкерах.

Для гашения энергии потока, вытекающего из шлюза, и, значит, предупреждения размыва русла нижнего бьефа, за шлюзом устроен бетонный гаситель в виде постепенно ушаряющегося лотка, имеющего два порога высотой по 2 м. За порогами имеется ещё водобойный колодец шириною в 10 м и глубиною в 0,6 м. От истирающего действия наносов верхняя грань порогов защищена металлической облицовкой.

Струенаправляющие выправительные сооружения в головном узле (рис. 127) построены в целях обеспечения промыва донных

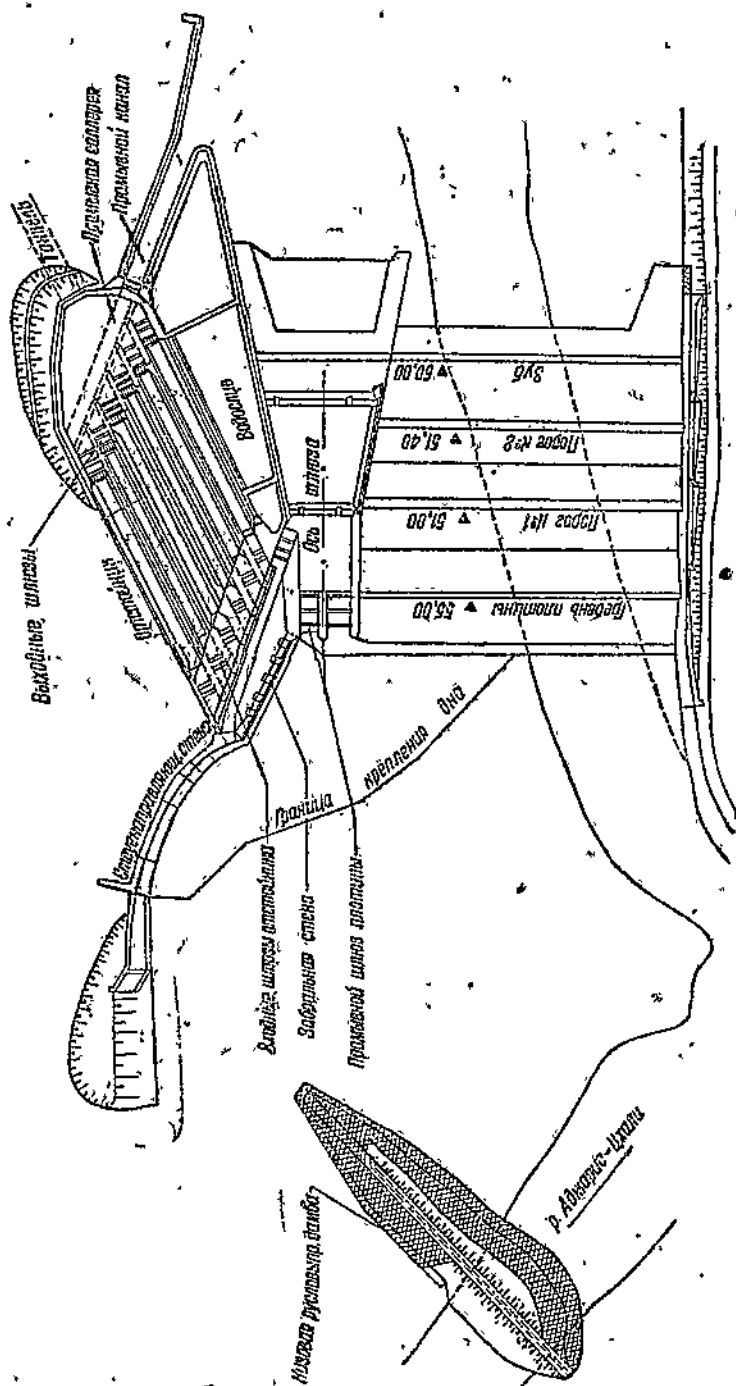


Рис. 127. Водозаборный узел Аджарис-Иджальской ТЭС.

наносов, откладывающихся перед порогом водоприёмника. Эти сооружения состоят из струенаправляющей дамбы, расположенной в 150—200 м выше плотины, и кривой, вогнутой струенаправляющей стенки, идущей вверх от водоприёмника и сопрягающейся с естественным откосом левого берега.

Струенаправляющая дамба идёт от правого берега к левому под некоторым углом и отклоняет поток к левому берегу, где он протекает вдоль левобережной криволинейной струенаправляющей стенки и вследствие изгиба развивает поперечную циркуляцию и тем способствует отклонению донных наносов от порога водоприёмника в сторону русла. Ширина очищенной от наносов полосы русла перед порогом водоприёмника зависит, главным образом, от расхода воды в реке.

С увеличением расхода ширина очищенного от наносов участка возрастает, и, наоборот, при малых расходах гряда донных наносов приближается к водоприёмнику.

Как показали исследования головного узла в лаборатории строительства, при расходе реки в $2\,000\text{ м}^3/\text{сек.}$ ширина очищенной перед порогом водоприёмника полосы равна 20 м.

Влияние открытий щитов промывного шлюза на отложение наносов перед порогом водоприёмника следующее: при открытии одного ближайшего к плотине щита гряда донных наносов отходит дальше от порога водоприёмника, и при больших расходах в реке одновременное открытие второго промывного щита ухудшения не вызывало. В том случае, когда в реке проходят малые расходы и щиты промывного шлюза закрыты, гряда донных наносов приближается к порогу водоприёмника, но опять-таки открытием ближайшего к плотине щита можно удержать эту гряду на значительном расстоянии от порога водоприёмника; в результате донные наносы в водоприёмник не попадают, открытие щитов промывного шлюза при малых расходах реки вызывает значительное снижение горизонта верхнего бьефа и тем самым затрудняет забор расчётного расхода деривации ($45\text{ м}^3/\text{сек.}$).

Водоприёмное сооружение состоит из оградительной стенки с отверстиями и следующей за ней успокоительной камеры, имеющей промывное отверстие (рис. 1286). Непосредственно к этой камере и прилегает отстойник. В оградительной стенке имеется 7 входных отверстий высотой по 2,2 м, шириной в 4,20 м и отметкой порога 52,2 м. Успокоительная камера служит для обеспечения благоприятных условий входа и равномерной работы камер отстойника.

Промывка успокоительной камеры от осаждающихся в ней наносов производится с помощью промывного шлюза с отверстием $5 \times 3\text{ м}$, перекрытого плоским щитом. Отметка порога промывного шлюза успокоителя принята равной отметке флютбета промывного шлюза плотины, т. е. 50 м.

Как показали исследования узла головных сооружений в Ленинградской гидроэлектрической лаборатории, в период промыва успокоительной камеры наблюдается ухудшение работы отстойника, выражающееся в неравномерности работы отдельных камер и снижении деривационного расхода. Исследованиями установлено, что

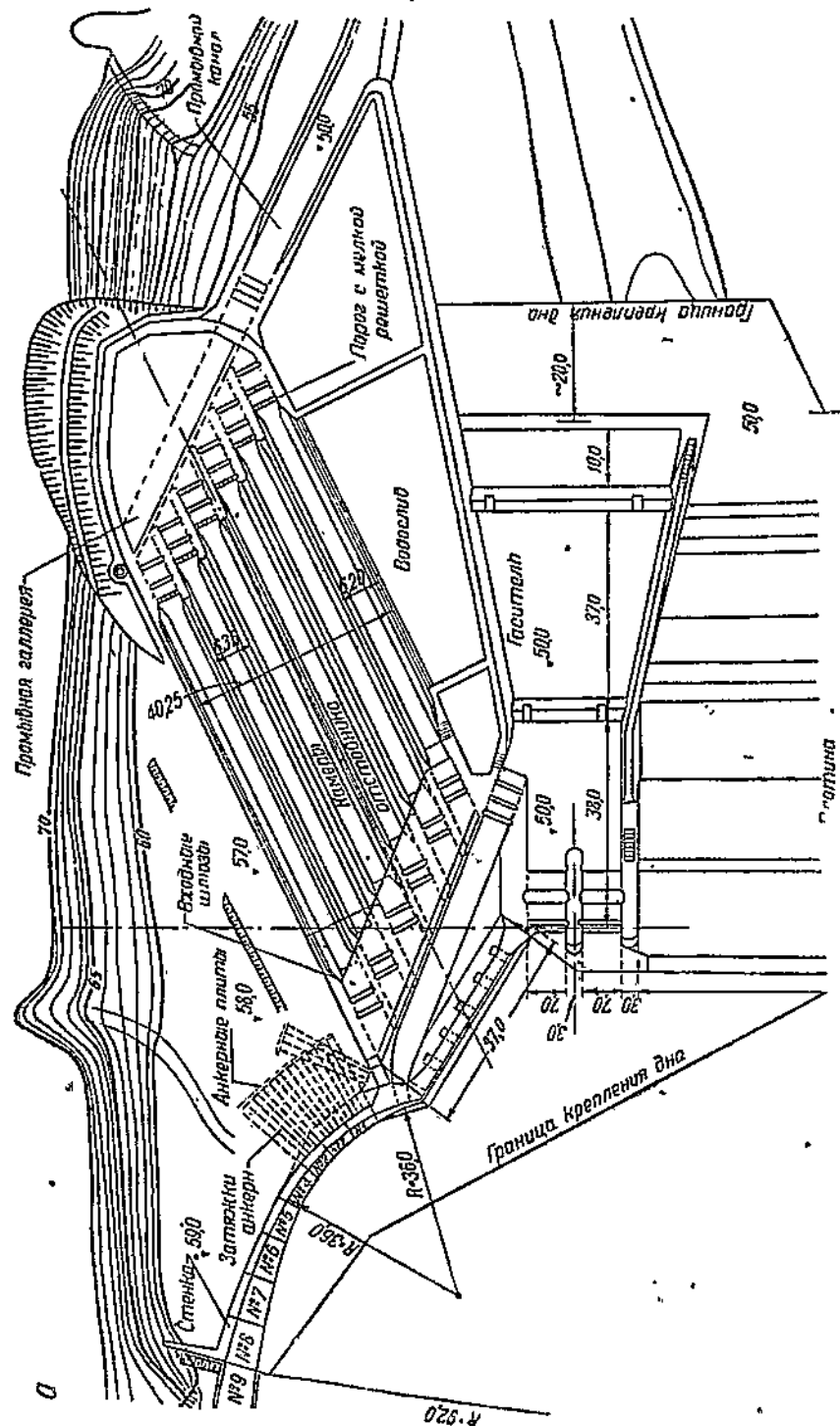
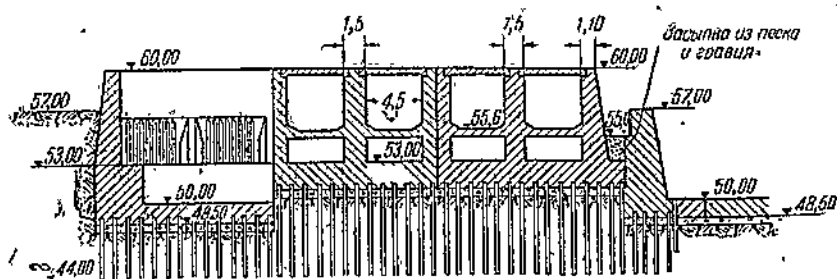


Рис. 128а. Водонирмные устройства и отстойник Айдарис-Цхальской ГЭС (план).

для расчётного деривационного расхода в $45 \text{ м}^3/\text{сек.}$ открытие промывного щита успокоителя не должно превышать $0,75 \text{ м.}$

Отстойник Аджарис-Цхальской гидростанции (рис. 128б, в, г) при деривационном расходе в $45 \text{ м}^3/\text{сек.}$ должен отстаивать взвешенные наносы крупностью $0,4 \text{ мм}$ и более. Отстойник трёхкамерный, прямолинейный, с гидравлическим промывом. Ширина каждой

Разрез по входным (входным) шлюзам отстойника



Разрез по выходным шлюзам отстойника

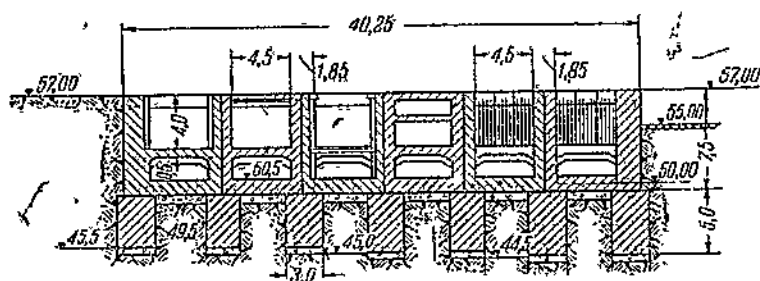


Рис. 128г. Отстойный бассейн Аджарис-Цхальской ГЭС (поперечные разрезы).

камеры 12 м. длина около 80 м. Со стороны верхнего бьефа продольная ось отстойника с осью плотины составляет угол в 64° , что обусловило взаимный сдвиг камер в продольном направлении и ступенчатое расположение щитов в плане. Уклон дна отстойника равен, примерно, $0,02$. Дно отстойника имеет отметку в начале $52,80$, в конце $50,5 \text{ м.}$ Стены камер отстойника железобетонные, на сваях. В целях лучшего эффекта промыва камер последние разделены на две части продольными низкими стенками (отметка верха их $53,75 \text{ м.}$), дающими возможность промывать каждую половину камеры, независимо одна от другой, и получать лучший эффект промыва. Для этого каждая половина имеет отдельное входное отвер-

стию $4,5 \times 2,0$ м, имеющее в начале грубую железобетонную решётку. Для предотвращения проникания в отстойник крупных наносов из успокоительной камеры при входе в отстойник устроен порог с отметкой верха 53 м и высотой, меняющейся в пределах от 2 до 3 м. Камеры отстойника промываются периодически и поочерёдно. В конце каждой камеры отстойника имеется по четыре выходных отверстия: два вверху и два внизу.

Верхние имеют сечение $2 \times 4,5$ м и служат для пропуска воды в деривацию, а нижние имеют сечение $1,9 \times 4,5$ м и служат для промывки камер отстойника. Отвод промывного расхода с наносами в нижний бьеф происходит посредством крытой железобетонными плитами промывной галереи, проходящей под выходными шлюзами отстойника. Дальше промывная галерея переходит в короткий открытый канал. Отметка порога выходных отверстий принята равной 53 м, промывных 50,5 м. Ширина промывной галереи 5 м. В начале выходных отверстий помещена мелкая решётка. Каждая пара выходных отверстий, состоящая из верхнего заборного отверстия и нижнего промывного, закрывается плоским золотниковым щитом. Щит поочерёдно открывает заборное или промывное отверстие.

Между выходными шлюзами отстойника и входом в деривационный тоннель имеется аванкамера. При входе в деривационный тоннель установлена решётка для задержания мусора, могущего попасть в аванкамеру. Конструктивной особенностью Аджарис-Цхальского отстойника является устройство бокового водослива на правой стенке отстойника. Водослив включается в работу только при больших расходах реки. Отметка гребня водослива 56,2 м, что соответствует отметке горизонта воды верхнего бьефа при расходе в $500-600$ м³/сек., вероятность которого 1 день в год.

При максимальном расходе реки в $2\,500$ м³/сек. горивонт верхнего бьефа равен 59,7 при закрытых отверстиях промывного шлюза и 59,0—при открытых. При этом отметка горивонта воды в отстойнике 56,75 (при двух открытых отверстиях промывного шлюза). В этом случае расход воды, сливающейся через боковой водослив отстойника, равен, примерно, 40 м³/сек.

Вода, сливающаяся через боковой водослив, попадает в гаситель промывного шлюза, левая стенка которого понижена до отметки 55,17 м.

В пространстве между правой стенкой отстойника и левой стенкой гасителя шлюза плотины сделана засыпка, облицованная сверху цементированными габбонами.

При нормальном рабочем горизонте в отстойнике 54,80 и пропуске расхода в 45 м³/сек. при условии занесенного наносами отстойника скорость воды в нём равна, примерно, $0,45$ м/сек. в начале и $0,30$ м/сек. в конце.

Как показали результаты исследований головного узла сооружений в лаборатории строительства, распределение скоростей в камерах отстойника при закрытом первом щите шлюза плотины достаточно равномерно; в случае открытия этого щита равномерность несколько нарушается. Здесь же следует отметить, что необходимость открытия

первого от водоприёмника щита возникает только при пропуске очень больших расходов, что бывает не так часто. Следует отметить тщательность разработки компоновки узла на моделях. Однако при выполнении проекта в натуре допущен ряд нарушений тщательно разработанной схемы узла. Дамба у правого берега сделана короче, в аванкамере форма бычков изменена, перемычка в верхнем бьефе разобрана частично, у левого берега остались значительные земляные массы от строительства. Всё это может существенно исказить общую картину потока и ухудшить работу водоприёмника и отстойника, по сравнению с лабораторными данными.

Г л а в а XII

ОТСТОЙНИКИ ПРИ БЕСПЛОТИННОМ ВОДОЗАБОРЕ

ОТСТОЙНИК ТЕРМЕЗСКОЙ ИРРИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ— ГИДРАВЛИЧЕСКИ ПРОМЫВАЕМЫЙ

Термезская система орошается водами реки Сурхан-Дарья, несущей большое количество наносов. По мутности эта река занимает одно из первых мест в Средней Азии. В связи с этим система сильно заплывается, несмотря на принимаемые меры по борьбе с заведением в неё наносов.

Борьба с занесением велась до последнего времени путём устройства временных отстойников, которые создавались обвалованием низменных участков в пойме реки и забрасывались после их заиления. Расходы по устройству и эксплуатации таких отстойников достигли в 1935 г. 350 тыс. рублей (свыше 100 рублей на гектар).

Однако эти отстойники не разрешали проблемы заиления системы. В том же 1935 г. по системе было вынуто наносов до 122 тыс. м³. В связи со всё возрастающей трудностью создания в пойме временных отстойников, решено было построить постоянно действующий отстойник на магистральном канале, в 8 км от его головы. Проект такого отстойника был разработан САНИИРИ (инж. С. Х. Абальянц), и в 1936 г. приступили к его осуществлению.

По проекту отстойник состоит из шести секций и присоединён к магистральному каналу параллельно (по схеме рис. 129).

Каждая секция представляет собой канал трапециoidalного сечения с одиночными откосами шириной по дну 7 м (в начале и конце камер) и длиной 1 000 м. Секции имеют в начале и конце бетонные шлюзы-регуляторы с пандорами для регулирования расходов, выключения секций и промывки их. Глубина секций, в начале и конце равная 1,5 м, к промывной трубе, расположенной на расстоянии 350 м от начала, увеличивается до 3,25 м. Таким образом, дно секций имеет уклоны: в начальном участке 0,005, в нижнем 0,0028 (обратный) (рис. 129). Скорости, таким образом, будут в начале и конце секций около 0,06 м/сек., в наиболее глубокой части их 0,04 м/сек.

Откосы и дно секций крепятся камышом. Вдоль каждой секции на дне устроены камышовые стенки высотой по 0,40 м для улучшения условий промывки.

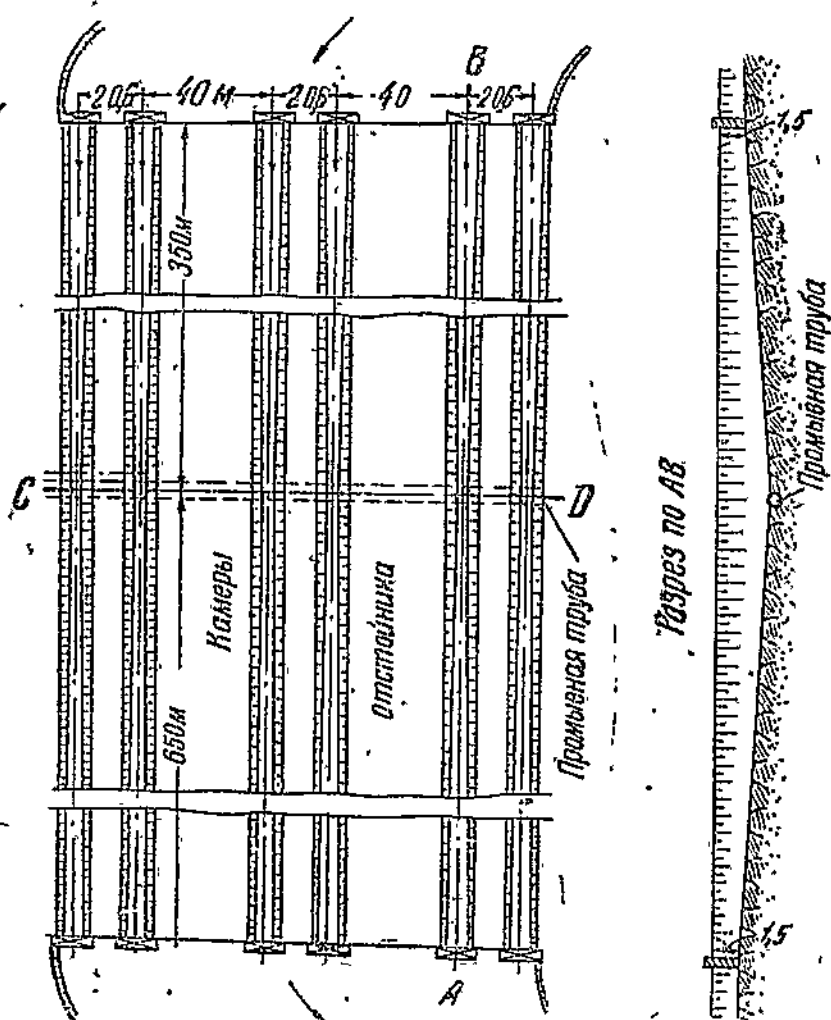


Рис. 129. Тирмезский отстойник (план и разрез).

Отстойник (5 секций) рассчитан на осветление $4 \text{ м}^3/\text{сек.}$, одна секция (шестая) является запасной и считается выключенной на промыв.

Промыв может производиться полным промывным расходом ($2 \text{ м}^3/\text{сек.}$) сперва верхней части, затем нижней обратным током при перепуске дополнительных $2 \text{ м}^3/\text{сек.}$ через работающие 5 секций. Но можно производить промыв и одновременно с верхнего и нижнего

концов при расходе воды по 1 м³/сек. на каждом конце. Тогда через работающие секции придётся пропускать добавочный расход только в 1 м³/сек., но в течение всего времени промыва. Промыв каждой секции намечалось производить (в напряжённые периоды) через 2—3 дня путём пуска струи из-под щита при скорости течения в 1,0—1,2 м/сек. Сброс гидромассы производится через железобетонную трубу, уложенную под дном секций нормально к их осям. В каждой секции имеется одно отверстие в сбросную трубу; перекрываемое металлическим затвором дроссельного типа; управляемым ручным подъёмником, установленным на железных фермах.

При принятом расположении отстойника подвод воды осуществляется через аванкамеру, а для обеспечения большей равномерности распределения расходов по секциям в шлюзах-регуляторах образуются перепады в 5 см. Этим достигается меньшее влияние подходящих скоростей и их косога направления по отношению к секциям.

Сами секции отстойника расположены попарно. Расстояние между осями секций в каждой паре 20,6 м, а между осями смежных секций двух соседних пар—40,0 м. Это последнее расстояние принято для создания кавальеров и резервов между парами секций. Стоимость отстойника исчислена в 700 тыс. рублей.

Опыт эксплуатации показал чрезмерное переосветление потока. Поэтому фактически выполняются только четыре секции вместо шести.

ОТСТОЙНИК НА КАНАЛЕ КУЛЬ-АРЫК—МЕХАНИЧЕСКИ ОЧИЩАЕМЫЙ (ТУРКМЕНСКАЯ ССР)¹

Канал Куль-Арык, расположенный на левом берегу реки Аму-Дарья, является одним из крупных по Чарджоуской области; орошаемая им площадь составляет 17 тыс. га. Голова канала (без сооружений) расположена в размываемом грунте и легко деформируется. Расход канала в 1940 г., до постройки головного регулятора, доходил до 70 м³/сек., после пуска в действие регулятора расход не превышал 31 м³/сек. и составлял обычно 20—25 м³/сек. Головной регулятор, выстроенный в 1940 г. и пущенный в эксплуатацию 17 мая того же года, расположен на расстоянии 3,7 км от входа в канал.

Отстойником здесь, по существу, является вся подводящая часть канала до головного сооружения; в этой части канала русло от 5-го до 29-го пикета заглублено на 0,5 м, а ширина его по дну увеличена до 40 м против 18 м на остальном протяжении канала.

Эта расширенная часть канала и является собственно отстойником. Русло канала и отстойника ничем не укреплено.

Единственным сооружением является регулятор на канале ниже отстойника, так что уровни в отстойнике колеблются вместе с уровнями в реке, и его эффективность в значительной мере определяется

¹ Составлено инж. Большаковым по работе А. Г. Хачатрян и А. А. Большакова «Отчёт об исследованиях по борьбе с наносами на канале Куль-Арык», проведенной под руководством проф. Д. Я. Соколова, 1941 г.

горизонтом воды в реке, который поддерживается в отстойнике головным регулятором, расположенным ниже его.

Очистка наносов производится землесосами Янгватова и ТуркменРЭС.

По первоначальному проекту средний процент осветления воды был установлен в 37% при длине отстойника в 1,5 км, среднем наполнении в 1,4 м и средней скорости в 0,34 м/сек.

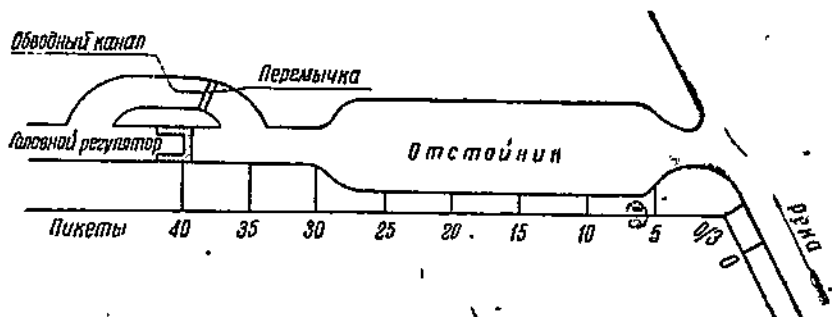


Рис. 130. Схема головного узла канала Куль-Арык (река Аму-Дарья).

В дальнейшем, с целью доведения процента осветления до 60, длина отстойника была увеличена до 2,5 км при сохранении остальных его элементов. Схематический план отстойника представлен на рисунке 130.

Действие отстойника по наблюдениям в 1940 г.

В 1940 г. Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидротехники и мелиорации были проведены исследования действия отстойника. Условия работы отстойника за период исследований характеризуются приведенными здесь (рис. 131) графиками изменения мутности и горизонтов воды. Механический анализ наносов показывает, что мелкие фракции (меньше 0,05 мм) составляют от 65 до 97%. На том же рисунке (131) приведены интегральные кривые твердого стока.

Исследования показали значительную эффективность работы отстойника. За время с 25 апреля по 14 сентября 1940 г. из поступивших 1 425 тыс. т взвешенных наносов осаждено в отстойнике 603 тыс. т, что составляет 42%.

Осветление воды в отстойнике резко колебалось в зависимости от горизонтов воды в реке и состояния очистки отстойника. В начальный период работы отстойника при малой запыленности его и высоких горизонтах воды в реке (с 18 мая по 5 июля) осветление воды в отстойнике в среднем составляло около 75%, достигнув наибольшей величины 6 июня—97%. В период с начала августа до начала сентября при значительной запыленности отстойника и снижении горизонтов воды в реке скорость течения в отстойнике повышалась до

0,5—0,7 м/сек., и небольшое осветление воды в 10—30% имело место лишь в отдельные дни, в остальное же время этого периода наблюдался вынос из отстойника отложившихся в нём ранее наносов.

Отсутствие средств для регулирования мутности воды в отстойнике при настоящей схеме его устройства следует признать серьёзным

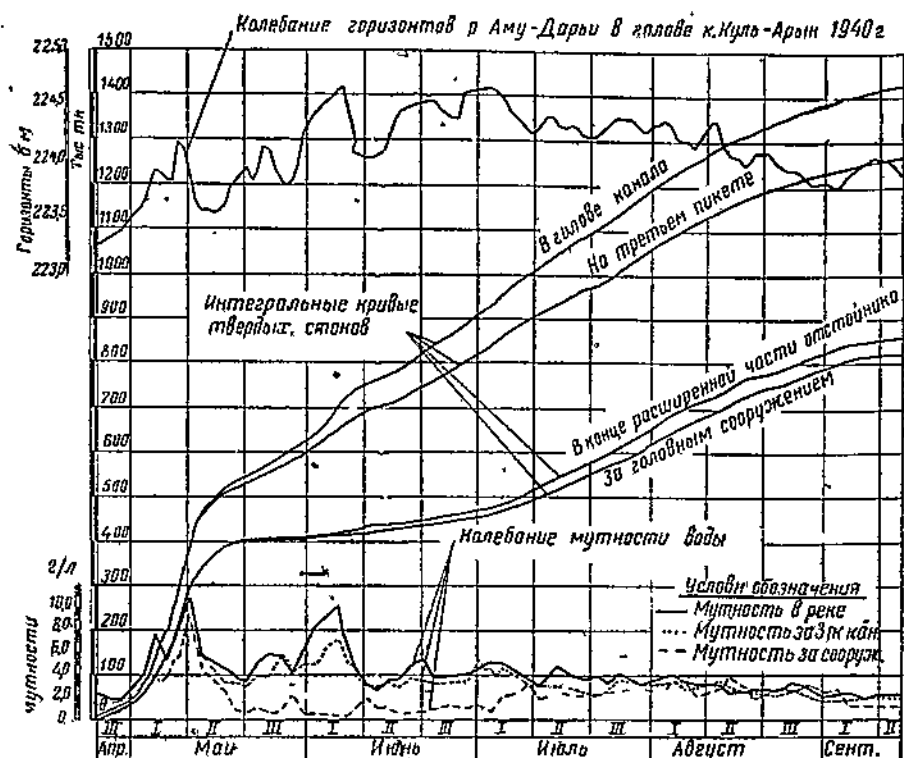


Рис. 131. Колебание горизонтов воды реки Аму-Дарьи, мутностей воды и интегральные кривые твердого стока в головном участке канала Куль-Арык.

недостатком. Сильное переосветление воды в первый период вызвало излишнее задержание отстойника и могло повести к размыву канала за отстойником.

Говоря о распределении выпавших из взвешенного состояния наносов по длине отстойника, следует отметить, что наиболее интенсивное выпадение происходит на первых пикетах. Так, за время с 4 мая по 14 сентября на первых трёх пикетах в среднем выпадало 54 тыс. т на один пикет, на следующих 26 пикетах — по 15 тыс. т и на последних 10 пикетах — по 3,5 тыс. т на пикет.

На очистке отстойника от наносов непрерывно работают землесосы; до 1 июля работали два землесоса типа ТуркменРЭС и три системы Янгватова. С 1 июля один землесос Янгватова был переброшен на другой канал, и на отстойнике остались четыре землесоса.

Обычно землесос совершает проходку около одного берега, спускаясь по мере выработки грунта вниз по течению. За сутки работы землесос Янгватова проходит от 10 до 25 м при ширине выработки 14—20 м, землесос типа ТуркменРЭС соответственно проходит 12—40 м при ширине выработки 18—24 м. Глубина выработки обычно составляет 1—2 м. Средняя часовая производительность для землесосов Янгватова составляет 17 м³ и для землесосов ТуркменРЭС 29 м³. Расход горючего для обоих типов землесосов составлял 0,40—0,50 кг на 1 м³ вынутого грунта в естественном уплотнении в отстойнике. Как производительность землесосов, так и расход горючего были близки к установленным НКЗ СССР нормам для этого рода работ (см. «Сборник норм и расценок на ирригационно-мелиоративные работы 1940 г., ч. 1-я, Москва, 1940 г.).

Работающие на отстойнике землесосы не обеспечивали своевременной очистки отстойника. Недобор по очистке к началу исследований (4 мая) составлял 124 тыс. м³, к концу исследований (14 сентября) заиливание отстойника, по сравнению с проектным положением, составило 260 тыс. м³.

Регулирование мутности воды в отстойнике

Как уже указывалось, степень осветления воды в отстойнике зависит от колебаний мутности воды и горизонтов в реке у входа в отстойник. Необходимое регулирование работы отстойника для сохранения постоянства мутности воды при выходе из него можно осуществить лишь при изменении конструкции отстойника и при наличии на нём необходимых сооружений.

Однако в некоторой мере улучшение работы отстойника может быть достигнуто мерами эксплуатационного характера, в частности, более рациональным распределением объемов очистки по времени.

Задаваясь определенными данными об изменении горизонтов и мутности воды у входа в отстойник и величиной мутности при выходе из него (или процента осветления), можно установить потребные глубины отстойника при данных размерах его длины и ширины.

Соответствующие расчеты, сделанные для отстойника на канале Куль-Арык с использованием формулы динамики мутности, предложенной проф. А. Н. Гостунским, привели к следующим выводам:

1. Переосветление воды за период с 18 мая до начала июля привело к излишнему заилению отстойника на 108 тыс. м³.

2. В то время как в первый период (до начала июля) фактическая средняя отметка дна отстойника лежит на 20—30 см ниже желательной отметки, что и вызывало переосветление воды, в последующее время эта отметка лежит, как правило, на 20—30 см выше расчетной, что и повело к частичному выносу отложившихся ранее наносов. Это вызвано тем, что распределение объемов работ очистки по времени не соответствует поддержанию необходимых глубин в отстойнике. В то время как средняя дневная выработка землесосов за период апрель—июнь составляла 1 800 м³, за последующие 2½ месяца она равнялась 1 000 м³. Отсюда вытекает, что умень-

шением интенсивности очистки в первый период и повышением её в последующее время можно было улучшить работу отстойника.

Существенное значение для таких простейших отстойников, каким является Куль-Арыкский (где степень осветления воды зависит от стихийно складывающихся горизонтов и мутности воды в реке); приобретает вопрос о правильном выборе размеров поперечного сечения его. Для условий наименьшего изменения мутности воды, выходящей из отстойника при колебании горизонтов воды в нём, необходимо устройство более узких отстойников. Соответствующие подёты показывают, что для отстойника на канале Куль-Арык целесообразно в процессе дальнейшей эксплуатации уменьшить его ширину, примерно, до 30 м (вместо 40 м) с необходимым увеличением глубины.

Работа направляющей системы

Существенное влияние на работу отстойника оказала установленная в голове канала струенаправляющая система проф. Потапова. Система состояла из 11 щитов в основном ряду и 5 поплавок. Щиты системы имели сегментную форму; их длина 4,6 м, высота 1,5 м, стрела 0,7 м. Система была установлена 6 июня. Вскоре после её установки русло при входе в канал стало изменяться в благоприятную сторону. Отложившаяся ранее с верховой стороны отмель стала размываться, и глубины во входном сечении канала увеличились.

Созданием искусственной поперечной циркуляции донные и придонные наносы отводились от входа в канал и относились в реку. За время с 7 июня по 14 сентября, благодаря системе, заиление отстойника уменьшено на 94 тыс. м³; из них 40 тыс. м³ составляют донные речные наносы и 54 тыс. м³ наносы, отложившиеся из взвешенного состояния вблизи входа в канал и также отнесённые системой в реку.

Стоимость затрат на эксплуатацию и амортизацию системы составила, примерно, 30 копеек на кубометр недопущенных в канал наносов, против 2 рублей стоимости очистки их механизмами. Помимо сокращения заиления отстойника и поддержания в устойчивом состоянии входного сечения канала, а следовательно, и его водообеспеченности, благодаря направляющей системе, уменьшилось заиление, а следовательно, и очистка головного участка, и тем предотвращён быстрый рост береговых отвалов (рашей) и преждевременный выход из строя отстойника. Сохранение водообеспеченности канала путём поддержания глубин в его голове уменьшало потери напора и позволяло, в известной мере, поддерживать подпор на сооружении при низких уровнях в реке и тем уменьшить скорости и вынос отложений из отстойника.

ВЫВОДЫ

Из приведённого описания конструкций, условий работы и эксплуатации ряда отстойных бассейнов можем констатировать следующее:

1. В Советском Союзе получили распространение при плотном водовзборе только периодически промываемые отстойники, а при бесплотном водовзборе—земляные отстойники с механической очисткой их землесосами и землечерпалками.

Построенные в первый период развития гидротехнического строительства однокамерные отстойники с гидравлической промывкой (Малокабардинский и особенно ЗАГЭС) привели к значительным осложнениям в эксплуатации и не обеспечивали надёжной защиты предприятия от наносов. Поэтому в последующий период строились почти исключительно двух- и многокамерные отстойники. Характерно, что у нас в Союзе ещё нет ни одного отстойника с непрерывной промывкой, тогда как за границей они распространены довольно широко (отстойник системы Дюфура). Это можно объяснить скорее незнанием методики проектирования, чем недостатками их. Напротив, периодически промываемые отстойники имеют ряд весьма существенных недостатков, основными из которых являются:

а) Необходимость иметь известный минимальный подпор на плотине для обеспечения опорожнения камер и промывки наносов. Это условие должно быть соблюдено и в паводок, когда уровень нижнего бьефа сильно поднят. Таким образом, приходится, с одной стороны, увеличивать высоту плотины и, с другой—уменьшать глубину камер. При меньшей же глубине получается более широкий отстойник со всеми вытекающими отсюда последствиями.

б) При периодичности удаления наносов необходимо иметь запасный объём для аккумуляции их. В Чирчикском отстойнике запасный объём в шести камерах принят в 36 000 м³, что составляет около 35% от полного объёма отстойника. Это создаёт переменные условия отстоя наносов—изменение глубины и скорости течения, что приводит к более интенсивному выпадению наносов в начальный период после промывки. Отложение более мелких фракций ускоряет заполнение запасного объёма в камерах и требует более частой промывки.

Неравномерность отложений наносов по длине, особенно неблагоприятная при прямом уклоне дна камер, создаёт настолько сильное стеснение живого сечения в начале, что дальнейшее накопление здесь наносов становится невозможным из-за больших скоростей течения. Таким образом, полезная длина камер сокращается, и отложение наносов становится недостаточным. Всякая задержка в промывке камер вызывает усиленный вынос наносов в канал (Малка-Кура). Кроме запасного объёма в камерах, необходима одна запасная камера, выключаемая на промыв. Если её не делают, то это чаще всего идёт за счёт перегрузки остальных камер. При двухкамерном отстойнике скорости в таком случае возрастают вдвое против проектных. Если же в этом случае каждую камеру рассчитать

на расход, больший половины потребного, но меньший полного (по экономическим соображениям), то будет происходить в известные периоды переосветление потока и необходимость более частых промывок.

в) Затруднительность регулирования мутности потока при однокамерном отстойнике. При колебании уровня в реке и расхода в канале неизбежно переосветление потока и более частые промывки. А эти последние при однокамерных отстойниках сопряжены с отключением деривации или с частичным уменьшением расхода воды в ней и с более интенсивным завлечением наносов в канал.

г) Потребность большого промывного расхода воды и малая и неравномерная по времени насыщенность его наносами; слабое использование объема воды в камерах при их опорожнении на промыв: около 3 м³ воды на 1 м³ отложений наносов сбрасывается почти совсем бесполезно. Чрезмерно большие промывные расходы (как в отстойнике Малка-Кура до установки щитов впереди) создают неблагоприятные условия подхода потока к камерам отстойника при заборе воды непосредственно в него.

д) При широких отстойниках приходится иметь большое число камер, требующих дорогих раздельных стенок и большого количества щитов, так что операции со щитами требуют много времени — значительно больше, чем непосредственно на промыв наносов. Поэтому приходится увеличивать периоды между промывками; это, в свою очередь, влечёт увеличение запасного объема в камерах. Длительность операций со щитами вызывает, кроме того, излишнюю трату воды.

е) Эксплуатация многокамерных периодически промываемых отстойников сложнее: необходимо следить за состоянием отложений в камерах для своевременной промывки их и производить довольно длительные операции со щитами. Это требует большего эксплуатационного штата.

Отстойники с непрерывной промывкой в этом отношении имеют ряд существенных преимуществ, а именно:

а) При промывке камер необходим лишь перепад уровней верхнего и нижнего бьефов, обеспечивающий транспортирование гидромассы; дно же камер может быть и ниже уровня нижнего бьефа (при средних и высоких горизонтах воды), необходимо лишь промывной тракт от отстойника до реки делать закрытым (напорным). Практическое превращение в межень отстойника Дюфура в периодически промываемый не сильно отражается на высоте плотины, поскольку уровни в нижнем бьефе в это время низкие.

б) Нет необходимости в большом запасном объеме для наносов. При периодической промывке этих отстойников в межень наносов бывает так мало, что промывка обычно осуществляется раз в 6—10 дней и реже. Поэтому, производя более частую промывку, запасный объем можно свести до минимума, а при наличии всегда излишней воды в реке вообще можно сохранить и в межень непрерывную промывку. Запасная камера не нужна.

в) Малый промывной расход, который может быть отрегулирован в процессе эксплуатации и доведён до минимума в межень период.

Набьщенность промывного потока выше, а следовательно, общее количество промывной воды потребуется меньше, чем в периодически промываемых отстойниках.

г) Промывные щиты небольшие и несложные, поскольку и самый донный промывной канал в отстойнике Дюфура невелик. Затворы могут быть в виде стандартных задвижек. Правда, количество щитов при превращении отстойника в периодически промываемый увеличивается за счёт верхних промывных щитов, но размеры этих последних также малы, поскольку дно камер имеет откосы и промывной поток концентрируется по оси.

д) В эксплуатации проще, так как при промывках нет столь сложных и непрерывных операций.

В связи с этим, в дальнейшем, при строительстве следует обратить внимание на необходимость освоения непрерывно-промываемых отстойников той или иной системы.

II. Подавляющее большинство выстроенных отстойников имеет те или иные недостатки, иногда легко устранимые в процессе эксплуатации путем выработки определённого порядка эксплуатации и незначительных переделок, иногда органические, устранимые только при переустройстве водозабора и отстойника или путём значительных регулировочных работ в русле.

Кроме того, недостатки, присущие выстроенным отстойникам, по своему характеру могут быть разделены на очевидные и легко устранимые в последующем проектировании и строительстве новых отстойников и на коренные, требующие дальнейших исследований и наблюдений на существующих сооружениях и в лаборатории.

К недостаткам очевидным, уже выявленным на выстроенных отстойниках, следует отнести:

а) Однокамерность периодически промываемого отстойника без возможности выключения деривации на время промыва. Неудовлетворительность работы такого отстойника особенно резко выявилась на Земо-Авчальской ГЭС. Здесь это ещё усугубляется отсутствием щитов на входном пороге и в связи с этим недостаточной пропускной способностью промывного отверстия в конце отстойника, не обеспечивающей быстрого промыва его без выключения.

Отвод воды в канал осуществлён путём выпуска её под забральную стенку, очевидно, с целью экономии на щитах, т. е. из придонных слоёв. При этом высота входного порога недостаточна, особенно при соседстве с отводом промывного шлюза, создающего весьма большие скорости, вмучивающие наносы. Всё это и привело к занесению канала и напорного бассейна наносами. В этом отношении лучшим решением следует считать отстойник на канале Форт-Ларамы с высоким и длинным отводным водосливом и с мощным промывным шлюзом. Выключение отстойника здесь происходит автоматически при снижении уровня воды при промыве его. Но однокамерные отстойники без возможности прикрытия их в начале с целью ограничения промывного расхода вообще будут плохо промываться, поскольку при большом забираемом расходе начнётся усиленное завлечение наносов из бьефа, подобно тому как это имеет место при промывке карманов.

б) Криволинейный в плане сильно развитый в длину входной порог без промывных отверстий в нём, как это осуществлено на Земоавчальской ГЭС. Даже при промывном плёве на $900 \text{ м}^3/\text{сек.}$ не удаётся обеспечить очистку порога от наносов. Лишь при значительном снижении уровня в верхнем бьефе удаётся увеличить зону смыва наносов, но полностью на всём протяжении очистить порог от наносов путём промывки невозможно из-за его криволинейности.

Высокий входной порог без щитов вообще весьма экономичен, но для обеспечения быстрого смыва наносов из отстойника необходимо мощное промывное отверстие в нём для получения больших скоростей. Однако при очень развитом в длину входном пороге при понижении уровня в отстойнике расход через него сильно возрастает; особенно в паводок.

в) Криволинейность в плане отстойных камер, как это имеет место на Малокабардинской оросительной системе и на ДзораГЭС. Отстой воды ухудшается из-за неравномерности распределения скоростей в таком отстойнике, а промыв наносов затруднён. Только при двустороннем промыве камер на ДзораГЭС удаётся обеспечивать удовлетворительный смыв наносов.

В связи с этим, например, в Сухумском отстойнике поворот потока осуществлён во входных камерах, а камеры его сделаны прямолинейными.

г) Боковой односторонний отвод воды из отстойника аналогично Малокабардинскому. Это создаёт неравномерность скоростей в нём, нарушающую нормальный отстой наносов. По существу, в данном случае противоположная отводу часть отстойника почти не участвует в подаче воды в канал. Вследствие водоворотной зоны и малых скоростей здесь происходит более интенсивная аккумуляция наносов. Напротив, у противоположной стенки, где устроен боковой слив воды, отложение наносов значительно меньше. Это усугубляется ещё вогнутостью стенки непосредственно выше водослива.

д) Обратный промыв камер осветлённой водой, подаваемой из канала, как это сделано в отстойнике ДзораГЭС. Промывной расход обычно достаточно большой, он чаще принимается равным нормальному полезному расходу, пропускаемому камерой, поэтому пропуск такого дополнительного расхода через другую (не промываемую) камеру обусловит повышение скоростей в ней, по крайней мере, вдвое. Учитывая, что при двукамерных отстойниках для сокращения размеров резерва часто рассчитывают обе камеры на полный расход канала, при промывке одной из них вторая должна будет пропускать и промывной расход для первой и полный расход для канала.

Если промывку производить во время провалов нагрузки станции, то всё же перегрузка камер остаётся. Во избежание этого придётся рассчитывать камеры с учётом пропуска дополнительного расхода на промыв, что приведёт к значительному увеличению отстойника, особенно двукамерного. С увеличением числа камер промывной расход уменьшается, и, кроме того, он распределится между несколькими камерами, что может вызвать относительно небольшое повышение скоростей.

е) Расположение отстойника на канале ниже криволинейного участка, как это сделано на КанакирГЭС. В результате циркуляции потока получается весьма существенная неравномерность распределения расходов воды и наносов по камерам, что осложняет эксплуатацию, требуя регулирования расходов по камерам и более частой промывки одной из камер, наиболее интенсивно заносимой. Это особенно резко выявляется при двукамерном отстойнике (если каждая камера рассчитана на пропуск половины расхода канала) и может привести к необходимости промывки камеры в неподходящие моменты, т. е. когда нагрузка на станции велика и вторая камера будет чрезмерно перегружена.

ж) Отсутствие щитов впереди отстойных камер при расположении их по способу Эльсдена, как это имеет место на Чуйском отстойнике и временно на Малка-Курунском. При достаточной пропускной способности промывных отверстий, как на Малка-Курунском отстойнике, полная промывка камер невозможна, а время промыва (хотя бы частичного) сильно возрастает вследствие завлечения наносов из бьефа; во время промывки одной камеры нарушается работа остальных, а при малом расходе в реке получается значительное уменьшение подачи воды в канал—до полного прекращения.

При отсутствии приспособлений для отключения камер со стороны канала (Малка-Кура) при промыве их влечёт усиленное поступление наносов в канал, когда уровень воды в промываемой камере не может быть снижен. То же получается и при сбросе воды через одну из камер.

При недостаточной пропускной способности промывных отверстий, как на Чуйском отстойнике, вообще промывка камер становится невозможной из-за малых скоростей в них.

з) Устройство в подобных случаях (пункт «ж») впереди камер забальной шугонаправляющей стенки, к тому же косо расположенной, обуславливает неудовлетворительную работу камер из-за водоворота на поверхности, повышенных донных скоростей и косины струй.

и) Использование промывных отверстий отстойника для сброса паводка, особенно при полном отсутствии сбросных устройств в плотине, как на Малка-Куре. При расходе в реке, большем потребного для канала, через ряд камер производится одновременно и сброс воды, так что они подают в канал в это время неосветлённую или недостаточно осветлённую воду.

Поэтому допустимо использование промывных отверстий отстойника, в целях экономии на плотине, лишь в исключительных случаях, например, при катастрофических паводках.

к) Врезка отстойника в берег при расположении его по Эльсденовскому способу, как это осуществлено на БаксанГЭС (рис. 124). Образованная перед отстойником открытая аванкамера, даже и с повышенным дном для увеличения скоростей, заносится наносами.

Поскольку скорости в подходящем потоке будут резко меняться особенно при промывке образованного перед аванкамерной кармана, условия входа в аванкамеру также будут изменяться, создавая отжим потока у левого борта. Кроме того, взмучиваемые при промывке

кармана крупные наносы будут забрасываться через порог в аванкамеру. Промывку же аванкамеры произвести не представляется возможным, поэтому придётся применять механическую очистку.

Подобная же картина занесения паузы перед регулятором будет и в отстойнике ДзораГЭС и в водозаборе КанакирГЭС (рис. 108). Подтверждением этого может служить голова Укчурганского (ныне Б. Ферганского) магистрального канала (67).

Очевидно, устранение всех этих недостатков в дальнейшей проектировании не представляет затруднений и должно быть проведено.

Но имеется ряд недочётов в работе отстойников из-за неумения правильно разрешать некоторые весьма существенные вопросы проектирования водозаборных узлов и самих отстойников. К таким вопросам относятся:

а) Выбор типа плотины, её высоты и пропускной способности. Из-за неправильного разрешения этого вопроса ряд водозаборов и отстойников работает неудовлетворительно (Малка-Кура, ЗАГЭС и др.).

Несмотря на то что плотина ДзораГЭС не имеет порога, выступающего над дном реки, и по ширине русло реки почти не стеснено, верхний бьеф оказался сильно заплывным. Очевидно, в паводок в верхнем бьефе скорости оказались далеко не достаточными для интенсивного выноса наносов; скопившихся за год. Необходимо было путём устройства дополнительного сброса обеспечить такие уровни при пропуске паводка. Интенсивный смыв наносов из верхнего бьефа может быть произведён также и при средних расходах в реке путём значительного снижения уровня воды. Для обеспечения же работы станции в это время необходимо запроектировать водоприёмник так, чтобы он мог забирать потребный расход воды при этих пониженных уровнях в реке. При этом количество поступающих в отстойник наносов может возрасти, и при периодически промываемых отстойниках запасный объём в них может оказаться недостаточным. В таких случаях целесообразно применять непрерывно промываемые отстойники.

В целях борьбы с заплывом верхнего бьефа, например, на Сухумской ГЭС, предусматривается держать наименьший уровень воды при расходах в реке, больших потребного расхода на гидростанции, с тем чтобы при сбросе излишней воды можно было бы смыть, по возможности, больше наносов.

При разрешении вопроса о промывке верхнего бьефа прежде всего следует иметь в виду, насколько это целесообразно. В том случае, когда верхний бьеф используется в качестве бассейна суточного регулирования, промывка его будет необходима для сохранения объёма бассейна. При переносе бассейна суточного регулирования на конец деривации промывки бьефа в целом может и не потребоваться. В этом случае необходимо лишь обеспечить благоприятные условия подхода потока к водоприёмнику, оставляя значительную часть бьефа заплывной, как, например, получилось на Мало-Кабардинской плотине или на плотине им. 1 Мая (на реке Зеравшан). Нет ничего угрожающего в том, что против середины пролёта плотины образовалась отмель. Поэтому в таких случаях плотина может

и не иметь большого количества щитов для смыва отложений по всему бьефу; достаточно иметь промывной шлюз возле водоприёмника для обеспечения смыва наносов перед ним и для поддержания потока; подводящего воду в район водоприёмника. Это вот уже в течение многих лет вполне удаётся осуществить на Мало-Кабардинской плотине.

Но промывные шлюзы в плотинах при принятой схеме их расположения вызывают значительные местные понижения уровней воды, особенно если они ещё отделены раздельной степкой. Это при наличии больших касательных скоростей ухудшает условия входа настолько, что забор воды непосредственно в отстойник становится невозможным.

Только устройством аванкамеры перед отстойником удаётся до известной степени ликвидировать эти неблагоприятные условия входа, учитывая всё же понижение уровня при расчёте пропускной способности водоприёмника.

При этом конструкция аванкамеры должна обеспечивать равномерность работы камер отстойника во всех случаях; даже при промывке самой аванкамеры¹. Форма аванкамеры, применённая в Аджарис-Цхальском отстойнике (рис. 128) и весьма тщательно разработанная на моделях, всё же не обеспечивает равномерности работы камер (по лабораторным исследованиям). Лучшим решением будет аванкамера, применённая в отстойнике гидроустановки на реке Керстелен (рис. 67), где выделена промываемая часть аванкамеры (в начале). Однако и в данной схеме крутой поворот потока при входе в отстойник является отрицательной стороной.

Отстойник в таких случаях вообще может быть несколько сдвинут на деривацию, как это делается в альпийском типе водозабора с гравпеловой. Очевидно, в связи с этим следует признать, что водозабор по реки непосредственно в отстойник не оправдал ожиданий, и необходимо искать более рациональных решений.

Мы считаем здесь невозможным детально разрабатывать этот сложный вопрос. Он тесно связан с водозабором и более детально освещён в нашем труде «Водозаборные устройства для гидростанций и ирригации». Наша задача здесь заключается лишь в постановке и обосновании вопроса в связи с отстойниками. Поэтому и ограничимся вышеперечисленным.

б) Выбор места расположения плотины и компоновка узла в целом, включая и регулировочные работы. Часто бывает так, что удобное для возведения плотины место (по геологическим условиям и по ширине реки) является мало удовлетворительным или совсем неудовлетворительным по условиям забора воды, особенно двустороннего (Чумпышская плотина, КанакирГЭС, ДзораГЭС, Аджарис-Цхальская ГЭС и т. д.).

Обычно при изысканиях недостаточно обращается внимания на отыскание удовлетворительного для забора воды участка реки: главное внимание сосредоточивается на отыскании прочного осно-

¹ Хорошим средством для сохранения равномерности распределения расхода воды по камерам отстойника в различных условиях его работы является создание небольшого перепада горизонтов воды при входе в отстойник.

вания под плотину. Неудовлетворительность же места отвода воды пытаются устранить регулировочными работами в весьма ограниченном объеме. В лучшем случае это оградительная направляющая дамба, примыкающая к плотине, 1—1,5 км длиной (рис. 115), а иногда только небольшая дамбочка для плавности входа в отстойник—водоприёмник (Малка-Кура, рис. 117), совсем не обеспечивающая благоприятных условий подхода. Иногда регулировочные работы имеют ограниченную целеустремлённость—обеспечивать смыл наносов перед водоприёмником, как это сделано в ДзораГЭС, Аджарис-Цхальской ГЭС и др.

При подходе к Чумышской плотине естественные неблагоприятные условия подхода не ликвидированы регулировочными работами. Скорости подхода к левому отстойнику значительно меньше (0,10 м/сек.), чем к правому (0,75 м/сек.). Это приводит к неравномерности заиливания верхнего бьефа непосредственно перед плотиной и резкому ухудшению условий подхода к одному из водоприёмников (по всей вероятности правому). Очевидно, при данной схеме водозабора необходимы более значительные регулировочные работы в верхнем бьефе, наряду с правильным расположением плотин; учитывая полную возможность постройки её на берегу с последующим созданием подходного и отводного русел.

Для гарантии правильности разрешения компоновки узла необходимо шире ставить лабораторные исследования, до сего времени ограничивающиеся преимущественно просмотром картины потока непосредственно перед плотиной, при весьма ограниченном участке реки вверх по течению. При этом компоновка узла на моделях должна сопровождаться и выбором типа плотины, состава и расположения её обросных отверстий.

в) Установление места регулирования расхода воды при заборе её в деривацию—в начале отстойника или в конце его.

Этот вопрос возникает всегда в ирригационных отстойниках и при длинных каналах в гидросиловых установках, когда они имеют в конце сбросы. При плотинном водозаборе вообще необходимо стремиться к возможно меньшему колебанию уровня в верхнем бьефе.

Тогда и регулирование расхода воды удобно сосредоточить в конце отстойника. Это целесообразно вообще по условиям выпуска воды в него—всегда при полном открытии входных щитов. Выпуск воды в камеры из-под щита недопустим, что и подтвердилось при эксплуатации отстойника ДзораГЭС. При малом колебании уровня воды и высота стенок бассейна получится не чрезмерной. Если распространить эти колебания уровня и на канал, что допустимо в гидросиловых установках, то получится ещё и дополнительная мощность на гидростанции за счёт увеличения напора.

В ирригационных каналах всё регулирование расходов должно быть сосредоточено в голове, и тогда колебание уровня воды в них будет определяться только колебанием расхода воды.

При значительных колебаниях уровня верхнего бьефа распространение их и на канал даже в гидросиловых установках нецелесообразно как по экономическим соображениям, так и по условиям

незапиряемости канала. В этом случае встаёт вопрос о целесообразности допуска таких же колебаний уровня в отстойнике, поскольку в этом случае стенки его придётся сильно поднимать, а выпускные щиты в конце отстойника делать большей высоты, чем при отсутствии колебаний уровня. Поскольку в данном случае перенос регулирования расхода на конец отстойника обуславливается только стремлением улучшить условия его работы, не допуская впуска воды сплошной струей на-под щита (при наивысшем уровне в верхнем бьефе), то возникает вопрос, не целесообразнее ли будет в этом случае устроить отстойник с аванкамерой и производить регулировку расхода щитами в начале её с тем, чтобы аванкамера служила для успокоения потока. Этим будет достигнута известная стационарность условий входа в отстойник; экономия на высоте стенок и на выпускных щитах.

Нечто подобное пытались получить в Аджарис-Цхальском отстойнике, но там аванкамера не имеет выпускных щитов, и регулирование расхода необходимо производить выпускными щитами отстойника, что вряд ли целесообразно. Вопрос этот должен быть увязан с выбором типа плотины, обеспечивающей промывку верхнего бьефа, и может быть разрешён подсчётами стоимости разных вариантов. При напорной деривации колебания в верхнем бьефе отразятся только на высоте уравнительной башни (если она необходима), в самую же деривацию (штольную) это никаких существенных изменений не внесёт. Следовательно, использование высоких уровней в бьефе для увеличения мощности ГЭС, если длительность их большая, может оказаться целесообразным. Тогда и стенки отстойника должны быть соответственно подняты. Регулирование же расхода воды в голове в этом случае не требуется.

При бесплотинном водозаборе приходится, как правило, считаться со значительными колебаниями уровня воды в реке, а в связи с этим и её мутности. Повышение мутности поступающей в отстойник воды вызывает увеличение мутности и выходящей из него воды при прочих одинаковых условиях. Транспортирующая же способность магистрального канала будет меняться только при изменении расхода воды в нём. Поэтому отстойник должен обеспечивать регулирование мутности выходящей из него воды, что весьма важно также в связи с происходящим переосветлением потока при высоких уровнях в реке и отстойнике, когда регулирующее сооружение расположено ниже отстойника (Куль-Арык). При этом необходимо иметь в виду, что транспортирующая способность распределителей и тем более оросителей в данной пригационной системе меньше таковой магистрального канала. Поэтому важно установить степень осветления потока с таким расчётом, чтобы по возможности уменьшить запыление распределителей и оросителей и предохранить магистральный канал от размыва, т. е., очевидно, следует принимать при расчёте отстойника мутность не меньше неразмывающей мутности магистрального канала. Значение её может быть установлено на основе технико-экономической проработки вопроса, учитывая, что очистка мелкой пригационной сети легче, чем магистралей, а смыл отложений в каналах увеличивает потери воды на фильтрацию.

Возможные варианты размещения щитов в этом случае рассмотрены нами в разделе «Расположение отстойных бассейнов и компоновка узла», где им и дана соответствующая характеристика.

г) Выбор систем впускных, выпускных и промывных щитов и размещение их. При больших отстойниках, с какими приходится теперь иметь дело, этот вопрос является весьма существенным. Например, в Чирчикском отстойнике насчитывается до 43 щитов весьма солидных размеров (большинство щитов имеет пролёт 7,65 м), несколько комплектов шандор, 36 подъёмников, 3 крана.

Поскольку операции со щитами отнимают много времени, промыв камер приходится делать реже, а это влечёт увеличение запасного объёма для аккумуляции наносов (в Чирчикском отстойнике запасный объём составляет 35 % от полного объёма отстойника).

В целях сокращения количества щитов в Аджарис-Цхальском отстойнике совмещены выпускные и промывные щиты в конце камер, но это возможно только при регулировании расхода в начале отстойника, что имеет и отрицательные стороны.

В ряде отстойников (ДвораГЭС, Варзоб) промывные щиты устроены сбоку, на промывных галереях, что позволило значительно сократить их размеры. А в ряде случаев (например, на Чирчикском отстойнике) перенос промывных щитов в конце камер на промывные галереи позволил бы сократить ещё и число щитов и подъёмников, поскольку на каждую камеру вместо двух можно было бы поставить по одному промывному щиту. При этом расположение промывных галерей могло быть принято по схеме Варзобского отстойника, а для повышения транспортирующей способности галерей целесообразно их устроить по системе шж. Колесникова¹.

Применение такой галереи и во входном пороге позволило бы сократить число щитов до одного-двух, если расходы в реке допускают увеличение галерей и промывных расходов, учитывая, что при большем числе галерей и при промывке порога по частям промывной расход может быть сокращён. Правда, это потребовало бы известного удлинения некоторых камер.

Для сокращения размеров основных щитов камер (впускных и выпускных) повышают пороги, устраивают забральные стенки — преимущественно в начале камер при водозаборе непосредственно в отстойник, иногда утолщают бычки, являющиеся продолжением раздельных стенок, как, например, это сделано в Канакирском отстойнике (рис. 114), где толщина среднего бычка доведена до 6 м. В ряде случаев для уменьшения размеров щитов и подъёмных устьев пролёты разбивают на части, так что входы и выходы из отдельных камер перекрываются несколькими щитами. При двухкамерных отстойниках без специальных аванкамер представляется возможность вообще несколько сузить выпускное сооружение относительно самих камер (Варзобский отстойник, рис. 110). Однако более рациональным будет сужение выпускных отверстий (Канакирский отстойник), поскольку это меньше отражается на работе камер и не вызывает

¹ См. журнал «Гидротехническое строительство», 1940, № 7.

значительного удлинения их при допустимости в этом случае более резкого перехода к сжатому сечению.

Ряд попыток совсем отказаться от выпускных щитов (ЗАГЭС; Чу, Малка-Кура) не привели к положительным результатам: работа отстойников оказывалась совсем неудовлетворительной.

Одновременное отсутствие и выпускных щитов в конце камер на канале Малка-Кура привело к невозможности выключать промываемую камеру при достаточно больших расходах в реке. Намеченная (по проекту) установка щитов в голове отстойника выправит это положение.

Таким образом, проектная схема отстойника канала Малка-Кура в отношении количества щитов весьма рациональна. Но такая схема возможна при допустимости значительного перепада в конце отстойника; что может иметь место только в пригати. Отказ от выпускных щитов в конце отстойника в условиях гидросиловой установки возможен при сильно развитом отводном водосливе, когда переливающийся слой воды будет незначителен и когда гребень водослива может быть поднят выше уровня в канале. Таким образом, потери напора при выходе из отстойника будут равны толщине переливающегося через отводной водослив слоя воды: чем сильнее может быть развита длина водослива, тем меньше потери напора. Очевидно в ряде случаев и в гидросиловых установках представится возможность освободиться от выпускных щитов в конце камер путём применения сильно развитых водосливов. Это будет целесообразно также при незначительных колебаниях уровня в верхнем бьефе или при регулировании расхода в начале отстойника.

Но все мероприятия в этом направлении пока не разрешают вполне радикально вопрос о щитовом оборудовании больших многокамерных периодически промываемых отстойников.

д) Организация наносозащитных мероприятий при бесплотинном водозаборе, применяемых в пригати. Поскольку удаление наносов в данном случае производится преимущественно механическим путём, т. е. ежегодно затрачиваются большие эксплуатационные средства, основной составной частью которых является стоимость землечерпания, весьма важно проработать вопрос о правильной организации работы самого отстойника и его очистки от наносов. Очевидно, что, с одной стороны, отстойник должен обеспечивать необходимое осветление потока, определяемое условиями работы каналов (см. выше п. 4), с другой стороны, нецелесообразно производить излишнее осветление потока, бесполезно перегружая землечерпательный караван.

Следовательно, возникает вопрос о разработке таких систем отстойников или такого их оснащения сооружениями; которые обеспечивали бы минимально необходимое осветление потока при переменных гидрологических условиях источника питания (реки) и минимальный захват наносов из реки за счёт сокращения поступления преимущественно донных наносов. В ряде случаев может представиться возможность в помощь очистным механизмам организовать частичную промывку наносов как в период эксплуатации отстойника, так и после закрытия системы во вневегетационный период, для чего

можно использовать существующие или специально устраиваемые сбросы в реку на магистральном канале на таком расстоянии от головы, чтобы можно было получить достаточно большой перепад¹. Промывка отстойников целесообразна также и в качестве противомаларийной меры.

На степень осветления воды по времени, в связи с изменением уровней и мутности потока в реке, наряду с рядом конструктивных вариантов (рассмотренных выше), радикально разрешающих этот вопрос, возможно действовать регулированием очистных работ по времени, усиливая её в послепаводковый период, когда уровни в реке и отстойнике падают. Но это предложение относится к схеме отстойника, подобной Куль-Арык (рис. 130), когда имеется одно регулирующее сооружение ниже отстойника. Целесообразно также в этом случае выбирать и соотношение ширины к глубине отстойника, наиболее благоприятное в каждом конкретном случае. При значительных колебаниях уровня в реке целесообразно делать более узкие отстойники, поскольку при поднятии уровня в нём скорость будет уменьшаться медленнее, чем при более широком отстойнике. Это несколько ослабит переосветление потока в паводок, наблюдаемое, например, на Куль-Арыке (см. описание этого отстойника выше).

Для уменьшения захвата наносов из реки с успехом применяются направляющие системы проф. Потапова. Опыт применения их в голове канала Куль-Арык показал, что эти системы, отклоняя придонный слой, защищают также и от известной части взвешенных наносов. Нам представляется, что для увеличения этого эффекта следует провести опыты с применением заилителей (сквозных сооружений) совместно с направляющими системами. Заилители, ослабляя скорости течения, особенно в нижних слоях, будут способствовать отклонению в реку более существенного количества взвешенных наносов, которые опустятся под действием заилителей в придонные слои потока.

При регулировании работы отстойника весьма важно правильно установить его размеры. До сего времени почти все теории по осаждению наносов в отстойнике исходили из того предположения, что выпавшие наносы вновь не размучиваются. В условиях пригати¹, когда приходится иметь дело с необходимостью выделять в отстойниках весьма мелкие наносы (ил), с этим явлением нельзя не считаться. При недопущении размучивания мельчайших частиц пришлось бы скорости в отстойнике задавать весьма малыми (измеряемыми мм/сек. или несколькими см/сек.), что привело бы к весьма широким и коротким отстойникам, а в связи с этим — к значительным конструктивным осложнениям при необходимости обеспечения равномерности распределения скоростей в отстойнике. Поэтому обычно скорости принимаются достаточно большими (на Куль-Арык $V_p = 39$ см/сек.), значительно превосходящими размучивающие, которые, примерно, в 2—2½ раза больше размывающих для данных наносов. Это также важно и с точки зрения противомаларийных мероприятий, когда скорость не допускается меньше 0,35 м/сек.

¹ Опыт промывки отстойника Куль-Арык экспедицией ВНИИГМ показал полную возможность этого.

В связи с этим, очевидно, необходимо при расчётах исходить из транспортирующей способности потока, изучая ход осветления его (при пересыщенности) по длине. Интенсивность осветления по длине будет зависеть от состава наносов и от скорости течения.

Предложенная проф. Гостунским формула построена именно на учёте изменения мутности. Однако она не учитывает состава наносов и при проверке в натуре даёт значительные отклонения от фактически наблюдаемых мутностей. Поэтому необходима постановка широких исследований по разработке теории транспортирования взвешенных наносов.

Наконец, при проектировании подобных отстойников серьёзным фактором является транспорт и размещение вынутого из них грунта. При расположении отстойника вблизи головы канала при бесплотном водоводе сброс наносов в реку требует значительного подъёма их землесосами, что экономически может часто не оправдываться. Обычно поступают таким образом: гидромассу выбрасывают по обоим берегам отстойника; предоставляя ей свободно растекаться. С течением времени берега повышаются, и, наконец, наступает предел, когда дальнейшее повышение берегов становится невыгодным, поскольку это вызывает необходимость большого подъёма гидромассы. Подсчёты показывают, что в таких случаях выгоднее построить новый отстойник с новой головой канала в ещё незатронутом отложениями вышележаемых наносов месте.

Поскольку это связано со значительными работами, необходимо вопрос о транспорте и размещении гидромассы также проработать на основе технико-экономических соображений.

В связи с этим особенно следует обратить внимание на проведение указанных выше мероприятий по уменьшению количества наносов в отстойнике и на всемерное развитие гидравлических промыслов.

Весьма существенным вопросом в экономике всего наносозащитного мероприятия является установление рациональных размеров отстойника (собственно аккумулирующего наносы объёма), с одной стороны, и необходимой производительности землечерпательного каравана, с другой стороны.

В основу разрешения этого вопроса удобно положить интегральные кривые отложения наносов и удаления их по времени. Очевидно, при заданном режиме отложения наносов за год можно получить разные аккумулирующие объёмы отстойника в зависимости от характера кривой удаления наносов, каковая будет определять мощность землечерпательного каравана. Наименьшая мощность его будет при равномерном удалении наносов в течение года. Но это обусловит и наибольший аккумулирующий объём отстойника. Просчитывая ряд вариантов, можно получить наиболее выгодное решение. При этом следует ориентироваться не на наименьшие капиталовложения, а на минимум стоимости вынутого кубометра наносов. При установлении аккумулирующего объёма следует учесть также изменение производительности снарядов с уменьшением толщины слоя отложений.

При подсчёте отложений наносов следует исходить из целесообразно необходимого осветления потока при заданном характере изменения мутности в реке в течение года, обеспечивая это осветле-

ние соответствующими мероприятиями по регулированию мутности, указанными ранее.

III. Эксплуатация водозаборных узлов и отстойников в большинстве случаев страдает рядом недочётов, ухудшающих работу и без того неудовлетворительно работающих отстойников. Происходит же это или вследствие недостаточной квалификации эксплуатационного персонала, не отдающего себе отчёта в серьёзности стоящих перед ним задач, или вообще вследствие недостаточности эксплуатационного штата.

В ряде случаев путём правильной организации эксплуатации узла удаётся, если не устранить полностью, то в значительной степени ослабить отрицательное влияние неудовлетворительно запроектированных водозаборных узлов и отстойников.

Очевидно, в связи с этим на эксплуатацию необходимо, как раньше, возлагать обязанность проведения некоторых исследовательских работ по сооружениям, необходимых для правильной организации технического управления всей системой сооружений узла. И лишь в более сложных случаях допускать привлечение научно-исследовательских организаций. Это создаст известную заинтересованность в достижении положительных результатов, вызовет сознательное отношение к происходящим явлениям и гарантирует безусловное проведение их в жизнь.

Глава XIV

НОВЕЙШИЕ ТЕЧЕНИЯ В ОБЛАСТИ БОРЬБЫ С ВЗВЕШЕННЫМИ НАНОСАМИ

Как видим, опыт строительства и эксплуатации отстойных бассейнов, помимо весьма полезных указаний по проектированию, выдвигает ряд вопросов как производственного, так и научно-исследовательского порядка. Некоторые из них уже нашли известное разрешение в работах и предложениях отдельных специалистов и организаций и отчасти внедрены в производство, отчасти ещё находятся в стадии лабораторных и камеральных исследований или ждут своего применения. Некоторые из предложений вносят радикальные изменения в самую систему выделения или задержки наносов и иногда ещё конструктивно не оформлены.

Все новейшие идеи и предложения стремятся внести существенную рационализацию в существующие системы отстойников или по-новому разрешают проблему борьбы с наносами и, в основном, направлены:

- 1) на устранение многокамерности отстойных бассейнов;
- 2) на сокращение размеров камер (преимущественно их длины);
- 3) на рационализацию механической очистки при бесплотном водозаборе.

1. Уменьшение количества камер, несомненно, может привести к существенному удешевлению отстойников.

В этом направлении пока применяются только продольные невы-

сокие (затопляемые) стенки и периодически промываемых отстойниках (рис. 126, 140), позволяющие немного уширить камеры, но не устраняющие необходимости выключения их на промывку, не облегчающие питовых устройств. Весьма существенное изменение в систему периодически промываемых отстойников вносит предложение инж. Ярошена, разработавшего новую систему промывки наносов.

Основной принцип данной системы отстойника заключается в применении для промывки наносов ряда продольных галлерей, устраиваемых в дне его и имеющих по всей длине щели для вымыва наносов (рис. 132, 133). Для уменьшения числа галлерей дно отстойника устраивается в виде ряда скатов, обеспечивающих концентрацию оседающих наносов возле продольных щелей на дне получающихся таким образом желобов, а при заполненных наносами желобах обеспечивается сползание их к щелям при промывке. В последней конструкции этой дополнительной подачи воды нет,

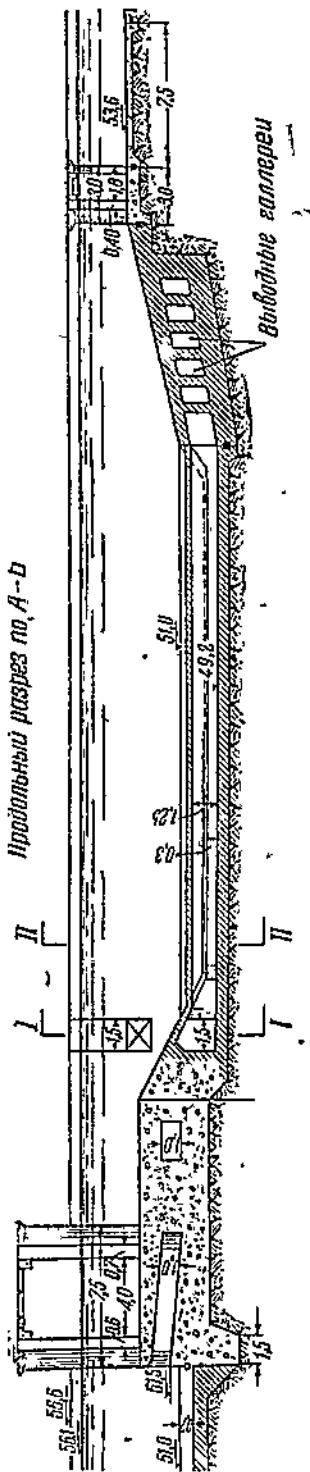
Для обеспечения промывки самых галлерей в них дополнительно подается вода через входные отверстия, расположенные в начале галлерей. Для подвода воды к этим отверстиям устраивается одна общая поперечная галлерей со щитами на откосах отстойника.

Чтобы продольные галлерей в непромывной период не забивались наносами, проваливающимися через щель, верх их сделан выше щелей, так что, если даже наносы и проникнут в значительном количестве в галлерей, то, во всяком случае, они не заполнят её, и над отложениями всегда будет оставаться свободное пространство, обеспечивающее возможность пропуска промывного расхода как через щели, так и через поперечную галлерей во входное отверстие их.

Промыв наносов в таком отстойнике может происходить без выключения его по частям, причём промывку можно вести одновременно через несколько галлерей, в зависимости от наличия расхода воды в реке. Это обстоятельство позволяет отказаться от деления широких отстойников на камеры. Лишь из соображений ремонта при необходимости обеспечить непрерывную подачу воды; можно устраивать две камеры, рассчитывая каждую на половину потребного расхода, поскольку выключение на ремонт может быть приурочено к меженному (или даже зимнему) периоду, когда наносов почти нет и перегрузка второй камеры будет не опасна.

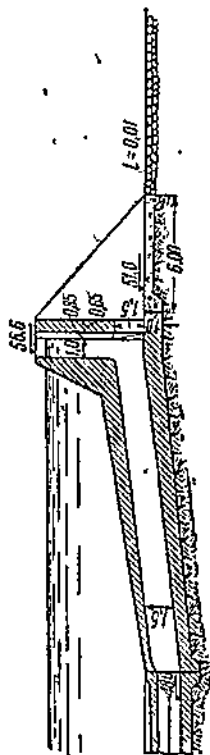
Промыв автором намечен прямой (по течению), а не обратный. При этом промыв начинается с конца отстойника и постепенно распространяется к началу его. Это несколько ухудшает условия промыва, поскольку нижняя часть щели, где уже промыв кончился, будет впускать воду в галлерей. Учитывая, что пьезометрическое давление к концу галлерей будет падать, расход через нижнюю часть щели будет больше, чем через верхнюю. Это отчасти можно парализовать уширением щели от нижнего конца к верхнему, что и сделано автором. Но всё же при прямом промыве трудно будет обеспечить смыв наносов при длинных отстойниках. Поэтому автором предложено щель по длине разбить на две части с отдельной промывной галлереей для каждой. Конструктивно это не вызывает затруднений, как видно из поперечного разреза (рис. 132), но приводит к увеличению числа щитов в конце галлерей.

Продольный разрез по А-В

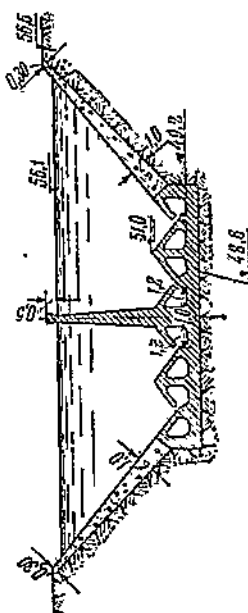


Выводные галереи

Разрез по выводной галерее



Разрез по II-II



Разрез по I-I

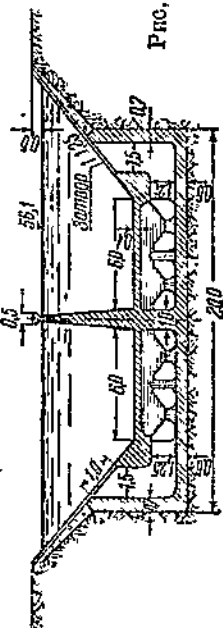


Рис. 132. Отстойник со цельным промывочным системой ипп. Ярошени на расход 30 м³/сек. (разрезы).

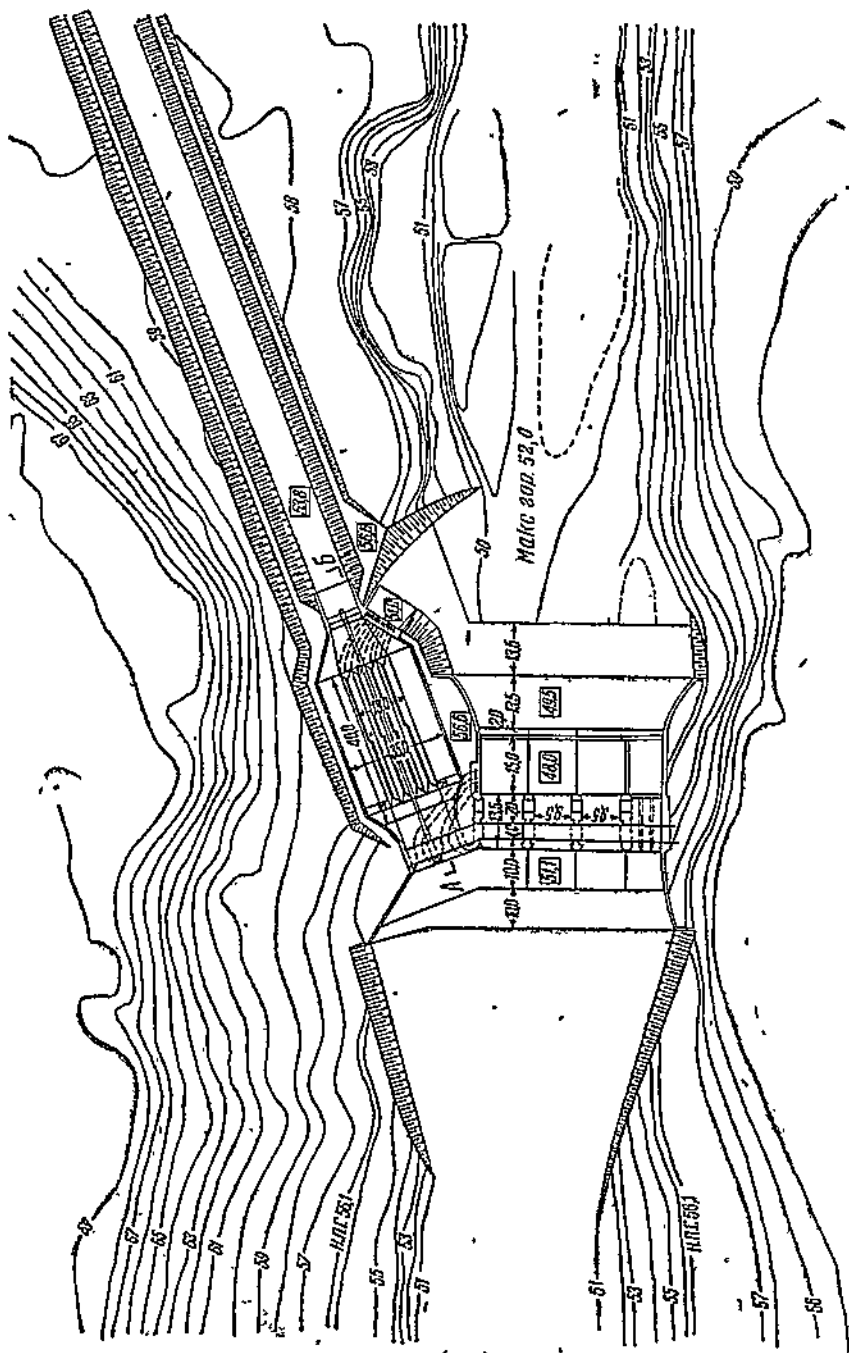


Рис. 133. Водозаборный узел с отстойником системы Ярошен на расход 30 см³/сек (план).

Кроме того, прямой промыв даёт относительно небольшой процент насыщения промывного потока наносами (на модели — 1,5% по объёму) и не обеспечивает смыва наносов в начальном участке галлерей без дополнительной подачи воды через входное отверстие.

При обратном промыве пьезометрическое давление в галереях будет падать к началу отстойника, и обусловленное этим увеличение расхода через щель согласуется и с количеством наносов, которых отлагается всегда больше в начале отстойника.

Расход же, поступающий через низовую часть щели (где уже промыв кончился), будет значительно меньше, и, кроме того, он будет способствовать смыву наносов в верховой части галлерей, где насыщенность, несомненно, будет выше, чем при промывке низовой части отстойника. Поэтому в дальнейшем следует запроектировать обратный промыв.

Правда, и обратный промыв имеет известные недостатки, а именно, возможность прорыва отложений наносов в верховой части галлерей, поскольку пьезометрическое давление здесь будет сильно понижено. Тогда промыв будет идти с двух концов галлерей и ничем существенно не будет отличаться от прямого промыва.

Лабораторные исследования данного способа промывки, произведённые НИИГ, показали вполне удовлетворительные результаты.

В отстойнике данной системы щиты на промывных галлереях небольшие, поскольку и промывной расход не может быть большим.

Другим предложением, сводящим число камер до двух, является отстойник с поперечной промывкой, разработанный в дипломном проекте студентом МГМИ Я. Ф. Соколовым и испытанный в лаборатории.

Сущность отстойника этой системы заключается в следующем.

Отстойник, рассчитанный на полный расход деривации, разделяется на две камеры продольной фундаментальной стенкой, возле которой в дне каждой камеры устраивается продольная промывная галлерея. Эти галлерей сообщаются с камерами продольной щелью, через которую происходит сброс смываемых наносов сразу по всей длине камер (рис. 134а, б).

Обычно перед промывкой наносов в периодически промываемых отстойниках камеры опорожняются при чрезвычайно слабом использовании на промыв этой сбросной воды.

В данной системе предусматривается наиболее эффективное использование на промыв объёма воды в камерах при опорожнении их. С этой целью в камерах устраиваются лёгкие продольные стенки, не доходящие несколько до дна. Таким образом, при опорожнении камеры через донную промывную галлерею вода из отдельных отсеков будет протекать только через эти щели под раздельными стенками при больших скоростях, при этом наносы будут смываться достаточно интенсивно.

Опыты на модели показывают, что при известном сочетании числа стенок, размеров щелей и интенсивности спуска воды через донную галлерею можно обеспечить полный смыв наносов только спуском имеющегося объёма воды в камере. Кроме того, раздельные

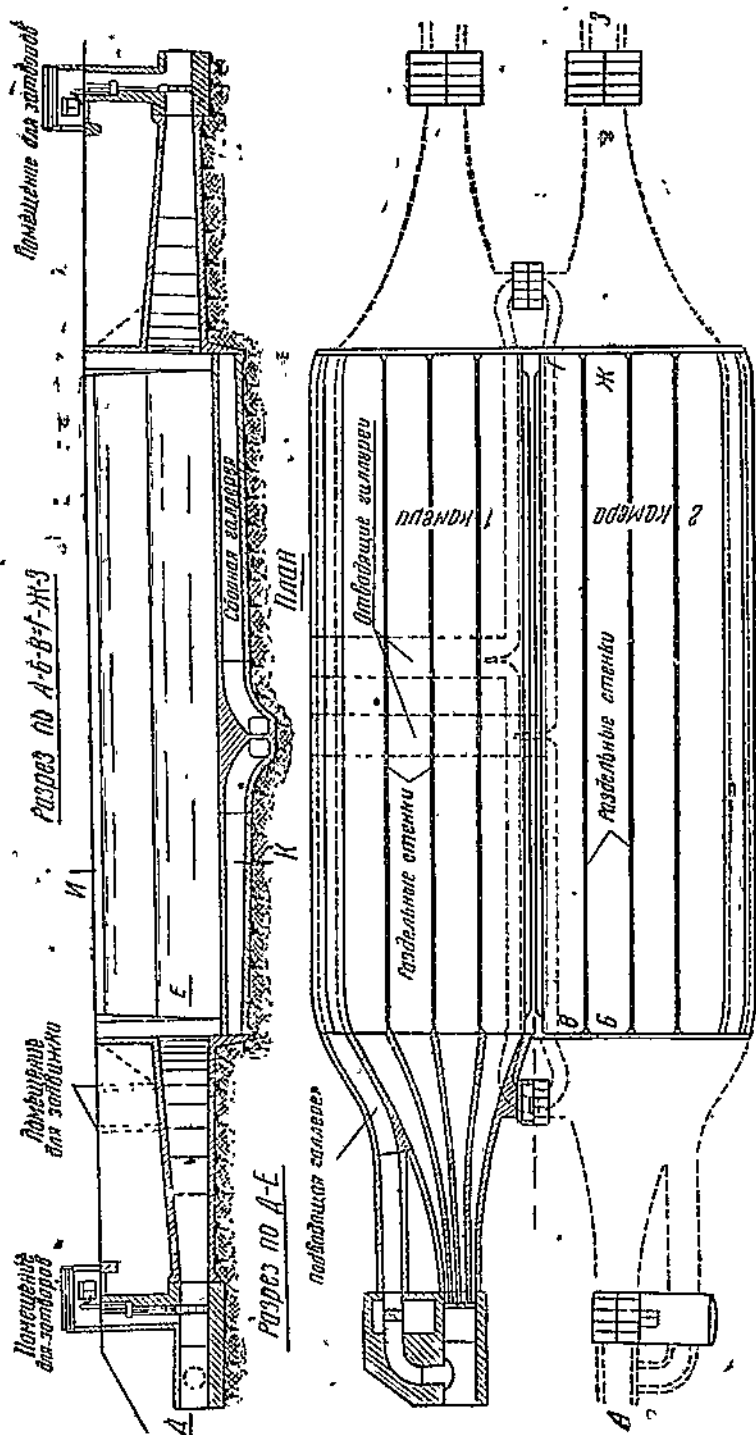


Рис. 134а. Отопитель с поперечной промывкой системы Я. Ф. Соколова (план и продольный разрез).

стенки способствуют более равномерному распределению скоростей по сечению камер.

Для полной гарантии смыва наносов в бортовых стенках камер устраиваются продольные смывные галереи со целевым выпуском воды по всей их длине. Для усиления смыва наносов дно камер делается с поперечным уклоном $\frac{1}{5}-\frac{1}{6}$ в сторону промывных галерей. Сброс гидромассы из промывных галерей производится по середине их длины. Это позволяет уменьшать сечение их и заглубление.

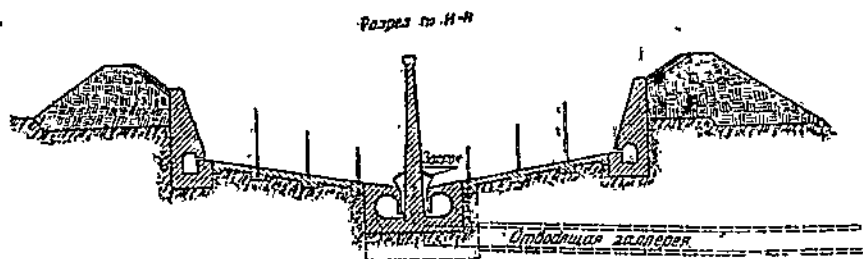


Рис. 1346. Поперечный разрез отстойника системы Я. Ф. Соколова.

Донные промывные галереи обеих камер сообщаются между собой в начале и в конце через специальные отверстия, перекрываемые затворами, что позволяет подавать дополнительное количество воды в промываемую галерею из соседней для предотвращения забивки в случае поступления в неё сильно насыщенной наносами гидромассы.

Таким образом, предлагаемая система отстойника позволяет ускорить процесс промыва при значительной экономии воды. Кроме того, число камер доводится до двух, независимо от общей ширины отстойника, а шитовое оборудование, весьма сложное в многокамерных отстойниках, здесь очень упрощено путём уменьшения их размеров и числа. Заслуживает внимания применение затворов трубопроводного типа, изготовляемых по стандартам, не требующих больших проектировочных работ и простых в сборке.

Следует отметить, что данная система предусматривает осаждение преимущественно мелких наносов (мелкий песок, ил), когда обычные периодически промываемые отстойники получаются весьма большими и сложными в эксплуатации. Кроме того, мелкие фракции при достаточно большой для них скорости течения (15—30 см/сек.) распределяются по длине камер равномерно вследствие смыва их вниз, что весьма важно по условиям промывки в данной системе отстойника.

Наличие более крупных фракций может обусловить весьма неравномерное отложение их по длине и затруднения при промывке.

В непрерывно промываемом отстойнике системы Дюфура, если отказаться от превращения его в периодически промываемый в межень (из-за нехватки воды), вообще можно не делать раздельных стенок и, значит, камер (рис. 44), как это предложено доцентом Шапошниковым.

Значительное сокращение числа камер и, следовательно, увеличение их размеров достигнуто в отстойнике Всеамериканского канала путём применения скребковых агрегатов (рис. 75), концентрирующих наносы возле промывных отверстий в дне камер. Этим путём удаётся сократить число промывных отверстий, распространив зону захвата одним отверстием до 38 м в диаметре, и довести промывной расход до минимума, подняв концентрацию наносов в промывном потоке до 10% по весу, что редко удаётся достичь даже при землесосной очистке отстойников.

Однако, учитывая возможные перебои в работе механизмов и необходимость выключения отстойника на время остановки агрегатов, однокамерным его делать нельзя. Заслуживает внимания в этом отстойнике относительно небольшое число штов, чего удалось достичь применением своеобразных подводящих и отводящих устройств и соответствующим расположением камер. Очевидно, подобные устройства и схемы расположения могут быть применены и в других системах отстойников с чисто гидравлической промывкой, что особенно важно при очень широких камерах, когда число их доводится до 1—2.

Сокращения числа камер можно достичь вообще применением механизации очистки. Но это приводит к значительным эксплуатационным расходам и к потреблению горючего или электроэнергии. Наличие плотины при водозаборе позволяет применять сифонные землесосы.

Однако применение их сильно ограничено, поскольку обычно использование отстойников связано со сравнительно малыми подпорами на плотинах; недостаточными для значительной длины транспортирования гидромассы по трубам. При больших отстойниках требуется и большой подпор на плотине для обеспечения транспорта гидромассы в реку, что требует технико-экономического обоснования. При малых отстойниках легче осуществить гидравлическую промывку, более удобную в эксплуатации.

2. Для сокращения размеров камер в длину при сохранении определённой скорости течения в них в настоящее время имеются два предложения. Одно из них сводится к применению многоярусных периодически промываемых отстойников (рис. 54). В настоящем виде это приводит к значительному усложнению конструкций и затруднительности промывки при эксплуатации.

Другое предложение заключается в устройстве дна камер с обратным уклоном и с обратной промывкой (рис. 40). Если в данном случае сокращение длины камер получается меньшее, чем хотя бы при двухъярусном отстойнике, но зато эта мера не вызывает почти никаких дополнительных расходов.

3. В отношении рационализации механической очистки отстойников при бесплотинном водозаборе, помимо организационных мероприятий, указанных ранее, следует отметить предложение о замене землесосов стационарной насосной установкой, создающей перепад, позволяющий применять гидравлическую промывку камер (рис. 6). При этом, для того чтобы избежать перекачки воды из камер перед промывкой при периодически промываемых отстойниках, целесообразно в таких случаях применять непрерывно промываемые отстой-

пнки или новую систему промывки—целевую—пнк. Ярошева. Но значительного уменьшения объёма бесполезной перекачки воды из камер можно достичь и при обычных многокамерных периодически промываемых отстойниках устройством перепускной галлерей с тем, чтобы воду из предназначенной к промывке камеры не перекачивать в сброс, а перепускать самотёком в только что промытую камеру. Такая система перепуска применена в трёхкамерном золоотстойнике Сталиногорской ГРЭС (рис. 30).

В этом случае для смыва наносов из камер к колодцу насосной станции для повышения концентрации гидромассы и уменьшения мощности установки целесообразно применять гидромониторы. Чтобы обеспечить транспортирование гидромассы в реку и устранить накопления отложений возле отстойника (рашей), ограничивающих срок службы его, необходимо отстойник располагать, по возможности, ближе к реке, применяя обратную промывку, например, подобно тому, как это представлено на рис. 135.

Из новых идей в области борьбы с наносами в условиях больших расходов воды следует отметить предложение инж. К. И. Гунькина, сводящееся к применению центрифуг для осветления воды, подаваемой в канал посредством насосов.

Вместо громоздких в условиях Аму-Дарьи отстойников с головными регуляторами и целым парком землесосов инж. Гунькин предлагает устанавливать пловучую насосную станцию с центрифугами при весьма малой высоте подачи воды. При этом выделяемые в центрифугах наносы будут выбрасываться обратно в реку, тогда как при очистке отстойников землесосами приходится учитывать известную высоту качки гидромассы для обеспечения её транспортирования на возможно большие расстояния с тем, чтобы увеличить срок службы отстойника, ограничиваемый рашами.

Надо полагать, что центрифуги могут обеспечить регулирование осветления потока значительно быстрее и проще, чем это возможно в отстойниках.

При отсутствии непосредственного сообщения между рекой и каналом, при установке центрифуг голова канала не будет заноситься

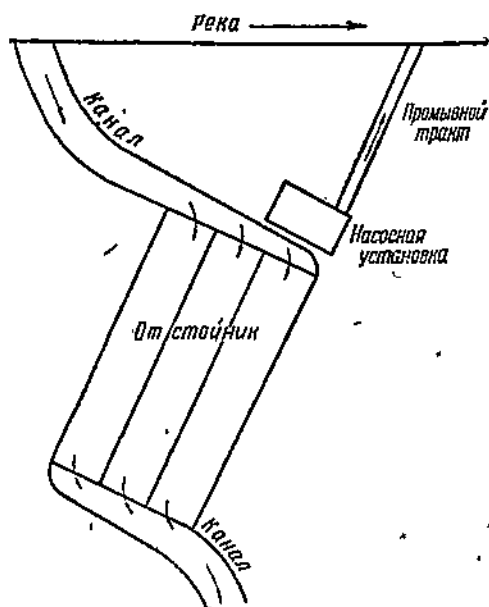


Рис. 135. Система бесплотинного водозабора с многокамерным промываемым отстойником и насосной установкой.

донными наносами и смещаться, а следовательно, не будет необходимости в направляющих системах, применяемых в настоящее время для этой цели. В случае неустойчивости берега плотучая насосная станция обеспечивает непрерывность снабжения водой.

Центрифуги применяются в ряде производств, но на столь большие расходы воды они ещё не применялись, а потому необходимы предварительные исследования для разработки наиболее рациональных в данных условиях конструкций их.

Весьма ценные указания имеются в отношении влияния электрического тока высокой частоты на характер движения наносов в потоке.

Создаваемое током поле замедляет движение взвешенных наносов через него. Таким путём можно достичь значительного сокращения длины продольных отстойников и уменьшения диаметра круглых вертикальных отстойников.

Оригинальная система отстойника разработана аспирантом Салаховым. Она основана на использовании идеи спиралевидной камеры (рис. 3) и круглого вертикального отстойника. Сущность этой новой системы отстойника заключается в следующем (рис. 436).

В круглый радиальный отстойник вода подаётся не в центре, как это обычно делается, а по периметру через ряд донных отверстий. При этом выпускные отверстия подводит воду по касательной к стенке отстойника. Таким путём создаётся циркуляция воды в нижней части круглой камеры. Для подвода воды к отверстиям вокруг отстойника на уровне его дна устраивается напорная кольцевая галерея: Верхняя часть камеры отделена от нижней горизонтальной грубой решёткой для обеспечения равномерности протекания воды из нижней в верхнюю камеру—по всей площади отстойника в плане. Вертикальные скорости при проходе через решётку должны быть меньше гидравлической крупности выделяемых в отстойнике наносов. Таким образом, задерживаясь в нижней части камеры, наносы неизбежно будут выпадать в ней и увлекаться в донное промывное отверстие в центре камеры. Для лучшего направления отложившихся наносов к центру на дне камеры устроены направляющие порожки, высотой h примерно равной $0,2 H_n$ (где H_n —глубина нижней камеры), очерченные по логарифмической спирали с углом между радиусом-вектором и касательной $\approx 35^\circ$. Среднее расстояние между направляющими должно быть в пределах $(5-7)h$. Для улучшения промыва наносов дну камер придаётся уклон к центру в пределах $0,05-0,10$. Отвод осветлённой воды производится через водослив по периметру достаточно тонким слоем воды в общий собирательный кольцевой канал. Это обеспечивает возможность выключения камеры без щитовых устройств на выходном водосливе.

Горизонтальная решётка, по модельным испытаниям, должна располагаться над донными подводящими отверстиями на $0,2-0,4$ м. Ячейки решётки желательно делать не больше $40-50$ см. Трубая решётка, собранная из досок, поставленных на ребро, вполне гарантировала от распространения сильных вихревых движений в верхнюю камеру, несмотря на значительные скорости в нижней циркуляционной камере.

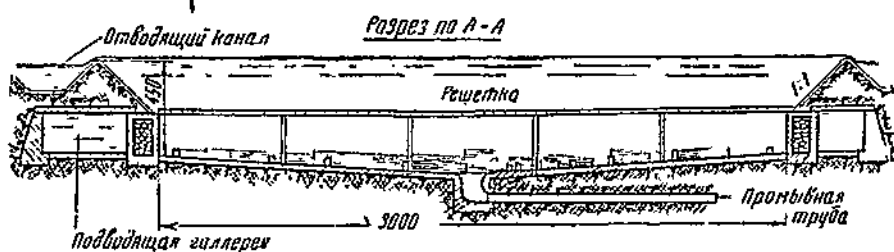
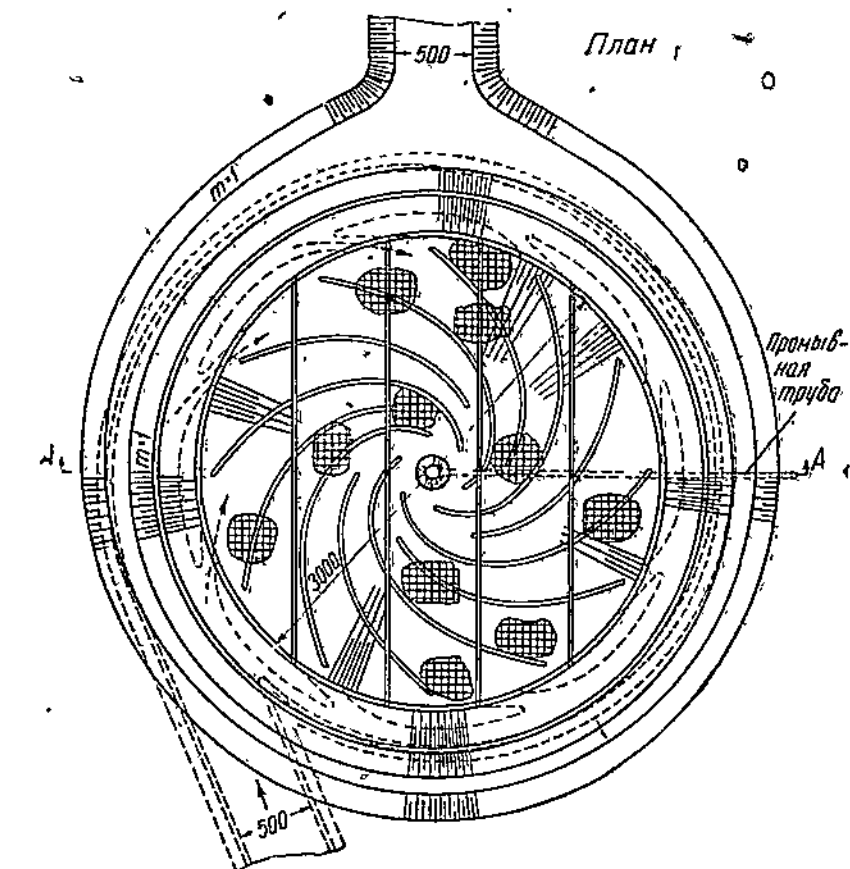


Схема решетки

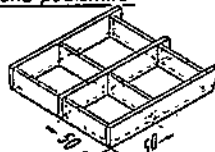


Рис. 136. Круглый отстойник системы Салахова.

Против образования воронки над донным промывным отверстием рекомендуется центральную часть решётки заменить сплошным диском диаметром, примерно, равным двум диаметрам донного промывного отверстия.

Высота нижней камеры определяется из расчёта, чтобы скорости течения в ней были больше размывающих для отлагающихся в ней наносов.

Диаметр отстойника определяется по расходу воды и вертикальной скорости в нём. Автор допускает возможное применение таких отстойников при диаметре до 30 м.

Опыты показали поразительно чёткую работу отстойника. Случайно проникшие в верхнюю часть камеры частицы при движении их к водосливу вновь выпадали и проваливались через решётку в нижнюю камеру.

Данная система отстойника создаёт полную независимость работы отдельных камер (как вообще круглые отстойники), не требует выходных щитов, обеспечивает стационарность входных условий, независимо от уровней воды в реке, и, наконец, требует незначительных промывных расходов воды.

Как видим, делу борьбы с наносами уделяется большое внимание и результаты весьма существенны. Но использование на производстве полученных достижений пока весьма слабое.

ЧАСТЬ III

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОТСТОЙНЫХ БАССЕЙНОВ

Глава XV

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ РАСЧЁТА ОТСТОЙНЫХ КАМЕР

В начале развития строительства отстойников в ирригации и гидроустановках при установлении размеров камер исходили из упрощённого представления падения частиц песка в потоке. Полагали, что в потоке частицы падают так же, как и в спокойной воде, т. е. со скоростью, равной гидравлической их крупности w_0 . Скорость продольного перемещения частиц принималась равной средней скорости потока. Исходя из этих представлений, определяли величину пути L , пройденного частицей вдоль отстойника, в виде

$$L = H \frac{v}{w_0},$$

где H — глубина воды в камере,
 v — средняя скорость потока.

Не учитывалось, таким образом, влияние турбулентности потока на скорость падения частицы. Это справедливо до известной степени лишь при весьма малых скоростях, измеряемых миллиметрами и, в крайнем случае, сантиметрами. Принимаемые же обычно скорости в рассматриваемых отстойниках в пределах 0,20—0,60 м/сек. создают турбулентный поток, имеющий восходящие и нисходящие токи. Это обстоятельство приводило к тому, что получающаяся по вышеприведённой формуле длина оказывалась недостаточной для осаждения всех частиц расчётной фракции наносов, поскольку известная часть и, находящаяся под воздействием восходящих токов и вихрей, падала с меньшей скоростью. Это побудило ряд специалистов ввести поправочный коэффициент $\alpha > 1$ в формулу длины отстойника. Значение этого коэффициента без достаточных оснований рекомендовалось, например, Шокlichem, в пределах 1,5—2,0.

С целью обоснования ввешивания частиц в потоке, Глушковым¹ было введено понятие о вертикальной составляющей скорости по-

¹ Отчёт гидрометрической части в Туркестанском крае, 1910 г., т. II, «Один из способов изучения условий движения наносов».

тока и. Им на основании исследований взвешенных наносов в естественных потоках было дано соотношение u и v в виде: $u = (0,05 \div 0,08)$ и без установления зависимости от гидравлических элементов русла. С принятием некоторой средней вертикальной составляющей скорости в потоке скорость падения частиц в нём можно полагать равной $(wL - u)$ и тогда длину L определять по формуле $L = H \frac{v}{w_0 - u}$. Таким образом, L теперь будет зависеть в значительной степени от скорости u , значение которой ещё не установлено с достаточной достоверностью.

В связи с этим проф. Великановым (17) были проведены лабораторные исследования (в Кучинской лаборатории) по определению этой вертикальной скорости u , которые позволили установить зависимость $u = 0,2 v$, как первое приближение. Однако методика исследований и обработка результатов не дают достаточных оснований для практического использования полученной зависимости¹. В той же работе Великановым была высказана мысль об использовании для установления u формулы незаияющей скорости в каналах и, в частности, формулы Кеннеди. Критическое состояние потока в соответствии с вышеуказанным представлением о взвешивающем факторе (u) характеризуется наличием в нём вертикальных скоростей u , достаточных для взвешивания частиц, т. е. можно положить, что в данном случае $u \geq w_0$.

Если принять зависимость u от v в виде

$$u = \beta v,$$

то для критического состояния незаияющих потоков будем иметь

$$u - w_0 = \beta v - w_0 = 0;$$

отсюда

$$\beta = \frac{w_0}{v},$$

где v — критическая незаияющая скорость.

Принимая v по Кеннеди, получим $\beta = \frac{w_0}{0,546 H^{0,64}}$

для метровых размеров, что приводит к следующим значениям β для разных глубин потока при $w_0 = 10$ см/сек., для фракций наносов в пределах 0,6—0,9 мм, которых содержалось ещё достаточно много в каналах, изучаемых Кеннеди:

при $H = 1$	3	2
$\beta = 0,183$	0,117	0,09

¹ При обработке материалов бралось максимальное отклонение частиц от горизонтальной линии, что характеризует получаемое таким образом u как некоторое среднее максимальное, тогда как следовало брать среднее квадратичное отклонение.

В этом же направлении проф. Егiazаровым (35) проведены значительно более углублённые исследования; им использованы опыты Бестерли, данные опытов Бюхи над отстойником Керстеленбах, измерения Буркова на канале ЗАГЭС и формула Черкасова для коэффициента C в формуле Кеннеди.

По опытам Бестерли получены значения β в пределах¹:

$$\begin{array}{cc} \text{при } H=1 \text{ м} & 2 \text{ м} \\ \beta=0,10-0,143 & 0,059-0,11 \end{array}$$

По опытам Бюхи при $v=0,175$ м/сек., средней глубине потока $H=3$ м и при $w_0=5$ см/сек. β получилось равным 0,085.

По опытам Буркова при $v=1,2$ м/сек., глубине воды в канале, $H=5$ м и при фракции наносов 0,7 мм β получилось равным 0,059.

При использовании формулы Черкасова коэффициент β получился в виде зависимостей

$$\beta = k \frac{w_0}{H^{0,04}},$$

где

$$k = 2,78 \left(\frac{\delta}{p w_0 (\delta_1 - \delta)} \right)^{1/6},$$

где p — мутность потока (г/л),

δ и δ_1 — удельные веса воды и наносов.

Но этот последний путь не является достаточно точным и надёжным для установления величины β , поскольку он основывается не на определённой фракции наносов, а на смеси разных фракций, и потому не представляется возможным установить с достаточной определённости, какое же значение гидравлической крупности w_0 взвешиваемых в потоке наносов следует принимать, учитывая также, что распределение наносов по крупности в сечении потока неравномерное. Кроме того, здесь β определяется через w_0 , величина которого достаточно сильно колеблется в зависимости от характера самих частиц и, главным образом, от их формы, на что нет никаких указаний в используемых материалах.

Самый принцип приравливания $\beta = w_0 = \beta_0$ в незаиляемых каналах неправилен, поскольку, например, Кеннеди незаиляемость понимал в том смысле, что канал при критической скорости временно заиляется, но позже он сам очищается. Следовательно, в данном случае нет установившегося равновесия сил. Кроме того, в формуле Кеннеди не учитывается ни содержание наносов в потоке, ни их крупность, что, несомненно, имеет существенное значение при взвешивании их. Чем наносы мельче, тем большее количество их может быть взвешено в потоке при данных гидравлических элементах его. Затем не учитывается влияние шероховатости ложа, также имеющей существенное влияние на взвешивание наносов, как пока-

¹ Проф. Егiazаров устанавливал коэффициент n , который по нашим обозначениям равен $1/\beta$. Нами произведён необходимый пересчёт данных Егiazарова.

зывают дальнейшие исследования в этом направлении автора, проф. Черкасова, проф. Гостунского и др. Наконец, сама формула является чисто эмпирической с ограниченным диапазоном применения. Всё это и приводит к невероятно значительному влиянию глубины на вертикальную составляющую скорости при использовании формул вида Кеннеди.

Теоретическое обоснование вида формулы Кеннеди имеет в виду достаточно широкие русла, так что влияние ширины исключается, что при расчёте отстойных камер, часто глубоких и узких, будет не верно. Поэтому в дальнейших работах в этом направлении стремятся установить величину u непосредственно в потоке путём постановки соответствующих лабораторных исследований.

Первая работа по этому вопросу, проведённая проф. Великановым (указанная выше), имела предварительный характер. В дальнейшем по той же методике, т. е. с эмульсионными шариками удельного веса, равного 1, значит невесомыми в воде, были проведены более широкие опыты инж. Савельевым (62) под руководством проф. Великанова. Условия опытов были следующие.

Глубины воды брались 20, 30 и 40 см при постоянной ширине лотка в 40 см.

Скорость воды изменялась в пределах 0,10—0,40 м/сек., т. е. соответствовала той, которая обычно принимается в отстойниках (в натуре). Стенки и дно лотка гладкие, и шероховатость их не менялась.

Пуск эмульсионных шариков производился по оси потока в середине глубины его. Отклонение шариков от горизонтальной линии отмечалось на равных расстояниях z от места пуска: z изменялось в пределах от 72,5 до 100 см и при всех глубинах места створов оставались неизменными.

Засекая прохождение шариков на вертикалях, получали распределение частот прохождения шариков по высоте. Если по оси потока откладывать эти частоты на данном интервале (достаточно малом), а по вертикали величину x — отклонения шарика от оси (горизонтальной линии), то получится закон распределения этих отклонений, а поскольку отклонения характеризуют некоторые средние вертикальные скорости по длине потока, то значит будет известен и закон распределения этих скоростей.

Опытами установлен закон нормального распределения независимо от расстояния; пройденного шариком, т. е. кривая распределения частот может быть выражена уравнением кривой Гаусса:

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где σ — квадратичное отклонение шарика от горизонтальной оси, проходящей через точку пуска его в поток (рис. 137);

x — расстояние от оси точки пересечения траектории шарика с вертикалью;

y — вероятность прохождения шарика на данной высоте x от оси.

В качестве критерия вертикальной составляющей скорости в потоке принималось среднее квадратичное отклонение шариков от горизонтальной линии σ , что и определяет наиболее вероятную среднюю величину её на участке от места пуска до рассматриваемого створа. Величина σ оказалась изменяющейся с увеличением расстояния до створа s . Автор даёт зависимость между s и σ в виде

$$\sigma^2 = (ks)^{2/3}. \quad (2)$$

При этом k изменялось с глубиной потока таким образом:

H (см)	k
20	0,0247
30	0,0227
40	0,0210

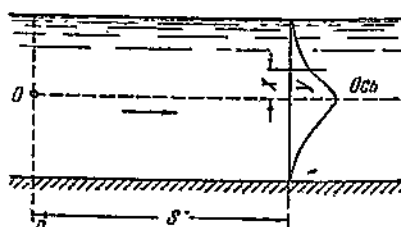


Рис. 137.

Однако автор определял вертикальную скорость для начального сечения при $s \rightarrow 0$, т. е. из отношения

$$\frac{u}{v} = \lim \left(\frac{\sigma}{s} \right)_{s \rightarrow 0}$$

Таким путём определённое значение u не имеет практического значения, поскольку оно оказывается зависимым от длины s^1 : при изменении s по опытам от 0 до 1 м отношение $\left(\frac{\sigma}{s} \right)$, а значит и u уменьшалось в два раза при постоянной глубине потока. Кроме того, принятие одного среднего, наиболее вероятного, значения u также не позволяет при пользовании формулой для длины отстойника

$$L = H \frac{v}{w_0 - u}$$

судить о степени осветления потока, поскольку имеются и большие значения скорости u (при большем, чем σ , отклонении шарика от горизонтали), вероятность которых меньше, но всё же известное количество частиц будет находиться под их воздействием и будет выноситься за пределы длины L , определённой при наиболее вероятном значении u .

Средние наиболее вероятные значения u в начальном сечении оказались зависящими от глубины потока H . Инж. Савельевым эта зависимость дана в виде:

$$u = \frac{0,078 \cdot v}{H^{0,22}} \quad (3)$$

¹ Для установления же эмпирической зависимости u от s опытных данных недостаточно: длина s , особенно при больших глубинах (40 см), мала: максимум s/H в этом случае = 2,5, тогда как в натуре отношение длины отстойника к глубине достигает 12—15 и выше.

с указанием, что она справедлива только для оси потока (т. е. для плоской задачи), поскольку пуска шариков у стенок не производилось, и что показатель степени при H для пространственной задачи будет выше из-за влияния стенок.

Но если обратиться к зависимости $\frac{\sigma}{s} = f(s)$, то, по данным ниж. Савельева, можно констатировать, что с увеличением s влияние глубины уменьшается¹. А так как частицы при выпадении на дно проходят значительный путь по длине потока, то влияние глубины на среднюю по длине потока величину σ будет незначительно даже по данным лабораторных исследований, в натуре же это влияние, по всей вероятности, будет совсем ничтожно, и вот почему. Совершенно очевидно, что наибольшая турбулентность будет возле дна, с удалением от которого она интенсивно убывает; соответственно изменению скорости в придонном слое. Интенсивность изменения турбулентности будет значительно больше в придонном слое и значительно слабее в остальной массе потока. При этом шероховатость дна будет иметь существенное влияние как на степень изменения турбулентности, так и на величину придонного сильно турбулентного слоя. Так как обычно в отстойниках шероховатость дна незначительная, то и степень турбулентности в придонном слое будет невелика. Напротив, в отстойниках степень турбулентности потока на значительной длине часто определяется входными условиями (забрала, решётки и пр.) и скоростью подхода, определяющими известную турбулентность во всей толще потока, а не только у дна и стенок.

В лабораторных условиях, при малых размерах потока, вся толща его будет находиться под более сильным воздействием трения на стенках (учитывая, к тому же, пуск шариков в опытах Савельева посредине глубины, т. е. вблизи наиболее турбулентной зоны потока).

Следовательно, опыты в лаборатории дают повышенное значение и при данной шероховатости стенок. Учитывая, что интенсивность изменения турбулентности будет значительно больше в придонном слое, вполне естественно, что при малых глубинах потока в лаборатории (20—40 см) и значительных скоростях течения изменение глубины оказало некоторое влияние на степень турбулентности потока, а в связи с этим и на σ в данной точке потока.

В натуре же при изменении глубины в пределах 2—5 м придонный слой по объёму будет составлять незначительную долю от всей массы потока, и потому влияние глубины на изменение турбулентности в потоке будет сказываться значительно слабее, чем на модели, а при узких камерах роль дна вообще мала по сравнению со стенками (примерно, 30%), влияние же стенок (вертикальных) с изменением глубины остаётся неизменным.

Таким образом, влияние глубины потока на вертикальную составляющую скорости и в натуральных условиях при малой шерохо-

¹ См. фигуру 7 его работы (62).

ватости дна вряд ли будет иметь практическое значение. Более существенным является изменение α по глубине потока.

Полученные же инж. Савельевым значения α относятся к середине глубины потока, тогда как при выпадении частицы на неё будут действовать восходящие (нисходящие) токи, имеющиеся во всей толще потока от поверхности воды до дна. Следовательно, необходимо знать распределение α по вертикали, а не в одной точке.

Однако следует учесть, что вообще решающими в установлении длины отстойного бассейна будут наносы заданных крупностей, находящихся в верхних слоях потока, где турбулентность достаточно равномерна. Наносы нижних, более турбулентных слоёв будут влиять на характер отложений преимущественно в начале отстойного бассейна, что является менее существенным в общей теории расчёта их. В настоящее время в рассматриваемой проблеме вопрос о влиянии глубины не столь актуален. Напротив, ряд других более важных вопросов о наносах, как динамика мутности в реке по времени, критическая мутность в каналах, опасный для турбин состав наносов и их количество и пр., является совсем слабо освещённым и не позволяет достаточно точно определять расчётные условия, а это сводит часто и самые расчёты к очень грубым вычислениям, хотя бы и на основе очень точной теории.

Следует отметить также, что шероховатость дна и стенок в опытах была почти одинакова, что не позволяет выявить влияние только дна при небольшой ширине лотка: при глубине в 40 см шарик опускался на равные расстояния от дна и стен (20 см).

Размеры эмульсионных шариков ($d \cong 3\text{мм}$) значительно больше размеров частиц, обычно осаждаемых в отстойниках. С увеличением же диаметра частицы, несомненно, рассеивание их в потоке будет слабее вследствие значительной инерции массы шарика и значительного объёма его, что приводит к суммированию действующих на него импульсов вихрей.

Несколько ранее инж. Савельева были проведены исследования по установлению вертикальной составляющей скорости и проф. Гостунским (28), впервые у нас в Союзе выдвинувшим идею применения теории вероятности при решении этой задачи.

При исследованиях проф. Гостунский применил оригинальную методику. Опыты были поставлены в стеклянном лотке шириной в 40 см, глубины потока были 20, 30 и 40 см, расход воды изменялся от 20 до 60 л/сек. Шероховатость дна также изменялась: были испытаны три шероховатости:

- 1) α — нормальная шероховатость дна лотка,
- 2) β — повышенная шероховатость путём укладки на дне слоя щебенки размером 1—3 см;
- 3) γ — повышенная шероховатость путём укладки бетонных брусьев шириной в 5 см и высотой в 3 см с изломом в плане — по 5 штук на 1 пог. м лотка.

Метод изучения вертикальной составляющей скорости сводился к следующему. В некоторой точке потока (посредине ширины),

меняемой по высоте, пускалась непрерывно краска из трубки (рис. 138). На расстоянии 20 см от этой точки (неизменном) устанавливался по вертикали ряд тонких приёмных трубок, в пределах зоны распространения краски, с отверстиями, направленными навстречу потоку. Посредством этих трубок брались пробы воды, по которым устанавливалась концентрация краски в разных точках по вертикали внутри конуса окрашивания калориметром Дюбоска. Длительность взятия пробы была одна минута с целью усреднения концентрации краски в пробе.

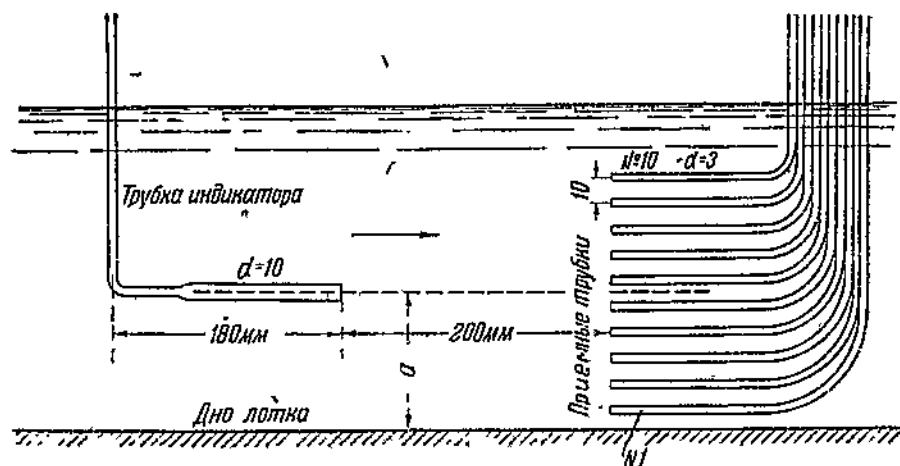


Рис. 138. Схема пуска краски в поток и взятия проб в опытах проф. Гостунского.

Если откладывать по оси абсцисс расстояние трубочек от середины, соответствующей положению точки пуска краски, а по оси ординат—относительную концентрацию краски в пробах, то получается кривая распределения краски в вертикальной плоскости потока. После соответствующей обработки опытного материала автор получил кривую нормального распределения.

К сожалению, интересно задуманные опыты поставлены не с достаточной полнотой: несомненно, что и будет меняться по длине потока и потому определение её на одном только (довольно произвольном) расстоянии не может иметь практического значения, как следует из опытов Савельева. В обработке материалов имеются некоторые неточности. В частности, при установлении относительной концентрации краски в пробах следовало бы учесть соотношение объёмов воды, окрашиваемых проникаемой в них краской, имея в виду распространение краски по конусу (а не в плоскости). Это приводит к существенному изменению концентрации. Если β_1 и β_2 концентрации краски в двух пробах на

расстояниях соответственно r_1 и r_2 от оси прибора, то относительная концентрация β_0 будет

$$\beta_0 = \frac{\beta_2}{\beta_1} \frac{r_2}{r_1}$$

вместо принятой при обработке $\frac{\beta_2}{\beta_1}$, где β_1 — концентрация, принятая за эталон.

Таким образом, для всех точек за пределами круга с радиусом r_1 получались β преуменьшенными, а внутри этого круга преувеличенными в отношении $\left(\frac{r_1}{r_2}\right)$, где r_2 — расстояние от оси до рассматриваемой пробы. Это привело к преуменьшению квадратичного отклонения σ , а значит к преуменьшению u . В дальнейшей обработке при вычислении величины u вкралась ошибка¹, которая привела к преувеличению вдвое вертикальной составляющей скорости. Это отчасти компенсирует недочёт при установлении относительной концентрации β_0 .

Полученные автором частные значения отношения $\left(\frac{u}{v}\right)$, в пределах 0,16—0,08 вообще близки к тем, которые получались и ранее, но они не точны по вышеуказанным соображениям и относятся к случайной точке в потоке.

Следует отметить, что автором установлено заметное влияние шероховатости на скорость u : она увеличивается с повышением шероховатости. Но здесь, к сожалению, автор ограничился лишь качественной стороной вопроса. Точно так же автор ограничился простым указанием на слабое влияние глубины потока на скорость u .

Важным результатом опытов является установление весьма заметного изменения скорости u по вертикали, если просмотреть приводимые автором материалы исследований. Автор даже не отметил в своей работе этого существенного обстоятельства. По материалам опытов наблюдаются изменения величины моды кривой Гаусса с изменением по глубине точки пуска краски (величины a), которые указаны в таблице 15.

Так как квадратичное отклонение σ , которым определяется наиболее вероятное значение u , обратно пропорционально моде y_0 , то скорость u будет уменьшаться к поверхности, как следует из данных приводимой здесь таблицы. Для полного освещения этого вопроса следовало бы взять и предельные значения a (0 и H), т. е. проверить влияние пограничных условий на вертикальную скорость.

Таким образом, на основании изложенных соображений нельзя считать задачу об установлении вертикальной составляющей скорости потока доведённой до конца. Но весьма существенным резуль-

¹ Математическое ожидание абсолютной величины тангенса угла отклонения струн — $\varphi_0 = \int_0^{\infty} y |x| dx$, имея в виду, что $\varphi = \frac{x}{2}$, вместо $\varphi_0 = 2 \int_0^{\infty} y |x| dx$ у Гостунского.

Таблица 151

№ п/п	Q (л/сек.)	H (см)	Скорость течения v (см/сек.)	Шерохова- тость	Расстояние от дна a (см)	Мода при- пой Гаусса (замеренная) y ₀ (см)
1	60	40	37,5	γ	10	2,073
2	60	40	37,5	γ	20	2,052
3	60	40	37,5	γ	34	2,589
7	40	40	25	γ	10	2,187
8	40	40	25	γ	20	2,085
9	40	40	25	γ	34	2,687
10	60	40	37,5	β	6	2,271
11	60	40	37,5	β	20	3,467
12	60	40	37,5	β	34	3,883
13	60	28,3	53	β	6	2,145
14	60	28,3	53	β	22,3	3,626

татом двух последних исследований было установление нормального закона распределения величины u в потоке. Это дало возможность проф. Великанову, предугадывавшему заранее полученный закон распределения u , выдвинуть новую теорию осаждения наносов в турбулентном потоке (18). Сущность её заключается в следующем.

Частицы, падающие в потоке со скоростью w_0 (гидравлическая крупность), будут находиться под воздействием вертикальных скоростей—восходящих и нисходящих, величина которых будет меняться по закону нормального распределения; поэтому они могут упасть на дно на самых различных расстояниях, и однозначного решения для длины L пройденного пути частицей заданной крупности нет. При установлении необходимой длины отстойника следует поэтому исходить из заданной обеспеченности осветления потока или вероятности отложения частиц данной крупности на принятой длине отстойника. Вероятность выпадения частиц на заданной длине получена следующим образом.

Высота падения частицы от собственного веса на длине L при скорости течения v будет

$$\frac{Lw_0}{v}$$

Для того чтобы частица упала не дальше длины L , необходимо и достаточно, чтобы высота её подъёма потоком x и её начальная высота положения над дном h в сумме были не больше высоты её падения от собственного веса, т. е.:

$$x + h \leq \frac{Lw_0}{v}$$

¹ Вследствие отсутствия в таблице данных по всем пробам, не представляется возможным вычислить квадратичные отклонения σ и самые скорости u .

Следовательно, на длине L выпадут все частицы, находящиеся под воздействием некоторых осреднённых по длине вертикальных скоростей, определяемых отношениями $\frac{x}{L}$, где x подчиняется закону нормального распределения.

Таким образом, для получения величины вероятности W осадения частиц на заданной длине L необходимо проинтегрировать выражение (форм. 1) в пределах

$$\text{от } x = -\infty \text{ до } x = \frac{Lw_0}{v} - h = m.$$

Тогда будем иметь:

$$W = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma} \int_{-\infty}^m e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} dx.$$

Вводя обозначения

$$\begin{aligned} \frac{x^2}{2\sigma^2} &= t^2 \\ \text{и } \lambda &= \left(\frac{Lw_0}{v} - h \right) : \sigma \sqrt{2} = \frac{Lw_0}{\sqrt{2} v \sigma} - \frac{h}{\sqrt{2} \sigma}, \end{aligned} \quad (4)$$

получаем окончательно

$$W_{w_0, h} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\lambda} e^{-t^2} dt. \quad (5)$$

Это есть вероятность осадения частиц данной крупности на длине L , находящихся в начальном сечении на высоте h от дна.

Если общее количество частиц, прошедших в начальном сечении на высоте h , будет N , то из них оседет на длине L — NW частиц. Вместо N можно вводить общий вес частиц P , тогда весовое количество осевших частиц будет PW .

Таким образом по заданной длине L можно находить вероятность W их осадения. Но можно решать и обратную задачу: по принятой вероятности (обеспеченности освещения потока) находить необходимую длину L .

Для облегчения расчётов проф. Великановым даётся таблица, в которой даны соответствующие значения λ и W (см. табл. 16).

Т а б л и ц а 16

λ	W	λ	W	λ	W
— 1,5	0,02	— 0,30	0,34	0,50	0,76
— 1,0	0,08	— 0,20	0,39	0,60	0,80
— 0,90	0,10	— 0,40	0,44	0,70	0,84
— 0,80	0,13	0,00	0,50	0,80	0,87
— 0,70	0,16	+ 0,10	0,56	0,90	0,90
— 0,60	0,20	+ 0,20	0,61	1,00	0,92
— 0,50	0,24	0,30	0,66	1,50	0,98
— 0,40	0,28	0,40	0,72	—	—

Порядок решения задачи следующий.

При заданных w_0 , v , h и P —общем количестве наносов данной крупности и принятом количестве наносов для задержания в отстойнике P_1 —находим величину вероятности

$$W = \frac{P_1}{P}.$$

По таблице находим соответствующее этой вероятности значение, и по уравнению

$$\lambda = \frac{\omega L w_0}{\sqrt{2} v \sigma} - \frac{h}{\sqrt{2} \sigma}$$

определяем необходимую для обеспечения принятой вероятности осаждения наносов длину L . Здесь пока неизвестной величиной является квадратичное отклонение (σ) частиц от горизонтальной линии; проходящей на высоте h над дном. Проф. Великанов принимает в первом приближении значение σ по формуле (2), полученной инж. Савельевым. Вместо h подставляется в качестве грубого приближения $\frac{H}{2}$, где H —полная глубина потока, т. е. все взвешенные наносы сосредоточиваются посредине глубины, хотя предложенный проф. Великановым метод позволяет произвести и более точный расчёт с учётом заданного распределения наносов по глубине при входе в отстойник.

Предлагаемое решение основано на следующих допущениях, кроме указанных выше:

1. Продольная скорость v —по вертикали считается постоянной и равной средней её величине, что при хорошо запроектированных отстойниках с разбивательными решётками можно считать вполне допустимым.

2. Величина σ считается также постоянной по глубине и равной среднему её значению, которое в первом приближении принимается по формуле (2), полученной при пуске эмульсионных шариков на глубине $\frac{H}{2}$. Следовательно, считается, что все частицы, независимо от их положения по высоте (у поверхности или у дна), будут находиться под воздействием одинаковой вертикальной скорости, без учёта пограничных условий и изменения σ по глубине. Опытами же проф. Гостуёнского установлено заметное изменение σ по вертикали. Кроме того, следует иметь в виду, что при установлении вероятности выпадения наносов не предусматривался обратный подъём наносов со дна, т. е. решение будет справедливо для малых скоростей потока.

Правильное по существу решение вопроса, к сожалению, не доведено до конца, а опытные исследования, на которых базируется автор, недостаточны для возможности широкого производственного применения новой теории.

В связи с этим Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники организовал дальнейшие исследования по выпадению наносов под руководством проф. Зегжда (в 1940 г.), основной целью которых являлось уточнение эмпирической зависимости $\sigma^2 = (ks)^{2/3}$. Опыты были проведены на отстойнике, расположенном в голове дополнительного водозаборного сооружения на реке Хохне, забираю-

щего воду для тоннеля Аджарисцхальской гидростанции. Полная длина отстойника 17 м, ширина камеры 2,30 м. Дно отстойника сопрягается со стенками одиночными откосами с заложением по 0,5 м, так что ширина горизонтальной площадки на дне составляет 1,30 м. Для выравнивания скоростей в отстойнике были установлены три ряда решёток во входной части камеры. Глубина воды в отстойнике менялась в пределах 0,8—1,8 м: Всего было проведено пять опытов при условиях, указанных в таблице 17.

Таблица 17

Условия опытов	Номера опытов				
	1	2	3	4	5
Глубина потока (м)	0,80	1,05	1,30	1,55	1,80
Расход воды (л/сек.)	413	563	711	862	1010

Расход воды подбирался таким образом, чтобы отношение $\frac{v_0}{v}$ было постоянным. Глубина воды указана для среднего по длине створа, так как дно отстойника имеет прямой уклон 0,04. Продолжительность опыта была 40—55 минут, количество пускаемых наносов изменялось вместе с расходом воды и составляло 559—1 120 кг из расчёта 0,5 г/сек. на 1 л расхода воды. Пуск наносов производился на поверхности воды равномерно по всей ширине отстойника. В качестве наносов служил песок реки Хохны, пропущенный через два сита с размерами ячеек 0,5 и 0,7 мм. Использован был песок, не прошедший через сито с ячейками в 0,5 мм. Состав песка реки Хохны указан в таблице 18.

Таблица 18

Диаметр частиц (мм)	Содержание фракции (%)
> 1	0
1 — 0,75	0,1
0,75 — 0,50	58,94
0,50 — 0,30	33,71
0,3 — 0,15	7,15
< 0,15	0,1

После прекращения пуска песка отстойник очищался и все отложившиеся наносы собирались по метровым поперечным полосам и взвешивались. По этим данным были построены зависимости обеспеченности отложений (в процентах) от длины, т. е. интегральные кривые отложений по длине. Кроме того, по оси отстойника были произведены замеры толщин отложений.

Кроме этих материалов были использованы ещё данные лабораторных опытов старшего научного сотрудника С. Ф. Савельева и инж. В. П. Попова¹. Поскольку методика этих последних опытов аналогична вышеизложенным, представилась возможность произве-

¹ Все материалы в рукописи.

сти общую их обработку, которая заключалась в установлении эмпирической зависимости для коэффициента φ в формуле Великанова.

$$\lambda = \varphi \left(\frac{w_0}{v} L - H \right),$$

где

$$\varphi = \frac{1}{\sigma \sqrt{L/2}}.$$

Поскольку φ должно зависеть от L и H , были сначала получены частные зависимости φ от L при $H = \text{const}$ в виде

$$\varphi = \frac{a}{L^n},$$

а затем находились зависимости параметров a и n от глубины H . В результате графической обработки опытного материала была получена формула для φ :

$$\varphi = \frac{1}{0,365 \sqrt{L} (\sqrt{H} - 2)} \quad (6)$$

для сантиметровых размеров.

Следует отметить, что при выводе данной формулы делались значительные допуски. Так, при установлении показателя степени n были получены значения его в пределах от $1/4$ до $3/4$ для разных H . Никакой закономерности изменения показателя степени с глубиной воды не установлено. Столь резкие колебания n объясняются принятым методом обработки материалов. Для определения n наносились на график зависимости между

$$\lambda \text{ и } \frac{A}{L^n}$$

для каждой глубины потока.

Здесь

$$A = \frac{w_0}{v} L - H.$$

Значения λ определялись по таблице Великанова по вероятности (обеспеченности) отложений W наносов на заданной длине. Обеспеченность же W определялась по опытным интегральным кривым отложений по длине отстойника при различных значениях L . При этом, так как n неизвестно, то строилось несколько зависимостей при $n = 1/4, 1/2, 3/4$ и 1 . Принималось такое значение n , которое удовлетворяло прямолинейной зависимости, устанавливаемой наугад. В связи с этим для одного и того же опыта иногда можно было принимать $n = 1/2$ и $3/4$ или $1/2$ и $1/4$. Окончательное значение n принято равным $1/2$ до большинства случаев — 12 из 20.

Для проверки точности опытов были произведены определения опытной длины $L_{оп}$ при обеспеченности выпадения $W = 50\%$ и теоретической L_T , получаемой по формуле

$$L_T = H \frac{v}{w_0},$$

которая при равноповторяемости отрицательных и положительных n даёт длину до центра тяжести отложений наносов, т. е. тоже при

$W=50\%$. Расходимость в длинах ($L_T - L_{оп}$) была весьма значительной, особенно для опытов на реке Хохне. L_T всегда была больше $L_{оп}$ на 34—93%. Опыты Савельева и Попова дали расходимость до 24%, но в большинстве случаев она не превосходила 10—15%.

Для уточнения опытов на реке Хохне проф. Зегжда ввёл поправку в замеренные отложения наносов, вычтя из них отложения на откосах, которые искажали до известной степени картину. Это несколько улучшало положение, но всё же расходимость достигала 53%, к тому же и самый метод введения поправки представляется спорным.

Для того чтобы исключить влияние откосов, можно было бы воспользоваться продольным профилем отложений по оси отстойника; полагая плотность наносов одинаковой по длине; что для песка вполне допустимо. Это даёт более надёжные результаты.

Нами были произведены построения интегральных кривых отложений (по площадям продольного профиля) для опытов 4 и 5, по которым получились следующие значения $L_{оп}$:

Таблица 49

№ опытов	L_T (см)	По Зегжда		$L_{оп}$ по площади отложений (см)
		$L_{оп}$ (см)	исправленное $L_{оп}$ (см)	
4	519	350	400	373
5	595	445	525	475

Как видим, они получились мало отличающимися от $L_{оп}$, полученных по весовым данным отложений на всей ширине отстойника. Это ещё более нас убеждает в неправильности введения столь значительной поправки на отложение на откосах.

Причину столь значительного расхождения результатов опытов с теоретическими предпосылками следует искать в методике постановки исследований, весьма, вообще говоря, сложной в условиях не только природы, но и в лаборатории. Дело в том, что принятые в опытах наносы представляли смесь песка разных фракций и разных форм частиц, что особенно важно.

Процентное содержание отдельных фракций и форм не определялось, а гидравлическая крупность смеси наносов устанавливалась по средневзвешенному диаметру, тогда как все подсчёты по L_T необходимо было провести отдельно для каждой фракции и формы песчинок, и находить средневзвешенное значение L_T , учитывая процентное содержание фракций и форм песчинок. Чтобы избежать этого, можно было бы более тщательно отсортировать песок, ограничив его состав малым диапазоном гидравлических крупностей (а не диаметров).

Меньшие расхождения $L_{оп}$ и L_T в опытах Савельева и Попова следует объяснить, очевидно, более тщательной подготовкой песка в лабораторных условиях.

Полученная формула для φ не содержит свободного члена, хотя почти все прямые линии, выражающие зависимость между λ и $\frac{A}{L^2}$, не проходят через начало координат. При этом отклонения λ от 0 при $\frac{A}{L^2} = 0$ весьма значительны — от +0,6 до -0,4. Этим значениям λ соответствуют также обеспеченности

$$\text{при } \lambda = 0,6 \dots W = 80\%$$

$$\text{» } \lambda = -0,4 \dots W = 28\%$$

вместо $W = 50\%$ при $\lambda = 0$.

В связи с изложенным следует считать, что настоящими исследованиями не исчерпывается затронутый вопрос. Следует приветствовать выход с опытными исследованиями на выстроенные сооружения, позволяющие изучать вопрос в крупных масштабах. В дальнейших исследованиях по этому вопросу необходимо обратить самое серьёзное внимание на методику постановки опытов.

Все рассмотренные выше теории осаждения наносов в отстойниках предусматривают только выпадение наносов и не учитывают вторичного поднятия частиц со дна, т. е. они позволяют решать задачи на осаждение при таких скоростях течения, которые не возмущают отложившиеся наносы, что обычно и должно иметь место в отстойниках. Следовательно, для отложения мельчайших наносов (илистых), содержащихся часто в значительном количестве в потоках, необходимо уменьшать соответственно скорости течения в отстойниках. Кроме того, отличительной чертой рассмотренных теорий является оперирование с отдельными частицами (фракциями), наносов и не учитывается влияние содержания наносов в потоке (мутности) на интенсивность осветления его при уменьшении скорости течения.

Поток имеет известные пределы насыщения наносами, определяемые гидравлическими элементами его: скоростью течения, глубиной или гидравлическим радиусом и шероховатостью ложа. Несомненно также, что предел насыщения будет зависеть и от крупности наносов: чем мельче наносы, тем выше этот предел. Таким образом, при уменьшении, например, скорости течения транспортирующая способность потока также уменьшается, и начнётся частичное выпадение наносов, в первую очередь преимущественно более крупных фракций, независимо вообще от крупности взвеси — или или песок. На известном участке с постоянным гидравлическим режимом поток достигнет новой предельной насыщенности и новой предельной крупности взвешенных наносов, соответствующих новым гидравлическим условиям. Знание режима изменения мутности по длине потока при новых гидравлических условиях позволит получать частичное осветление потока, определяемое требованиями предприятия.

Такая постановка вопроса имеет место преимущественно в ирригации, где чрезмерное осветление потока может принести даже вред. Поток стремится довести свою мутность до предельной, и, будучи переосветлён, он начнёт размывать каналы ниже отстойника, поскольку они обычно на наших системах не бетонированы.

При механической чистке отстойников, применяемой преимущественно при бесплотинном водозаборе, задержание излишнего количества наносов в них влечёт перерасходы по содержанию механизмов. Кроме того, илистые наносы часто бывают полезны для орошаемых полей, и потому целесообразнее производить в таких случаях вынос их на поля. Это также ограничивает степень желательного осветления потока.

Первой попыткой установить насыщенность потока при изменившихся условиях течения является формула Кеннеди. Он полагал, что содержание наносов в потоке будет пропорционально скорости течения в некоторой степени n и может быть выражено формулой αv_0^n при рассмотрении 1 пог. м ширины русла. Здесь α — некоторый постоянный коэффициент. С другой стороны, количество наносов в потоке будет $p_0 q$ при содержании их p_0 (в долях от расхода воды) и при удельном расходе воды $q = H \cdot v_0$ для прямоугольных русел. Следовательно, можем написать

$$\alpha v_0^n = p_0 q = p_0 H v_0,$$

отсюда

$$v_0 = \left(\frac{p_0}{\alpha} H \right)^{\frac{1}{n-1}}.$$

Но по опытному уравнению Кеннеди незаиляющая скорость выражается в виде

$$v_0 = c H^{0,64}.$$

Приравнявая первые части двух выражений для v_0 , получим

$$\left(\frac{p_0}{\alpha} H \right)^{\frac{1}{n-1}} = c H^{0,64},$$

отсюда

$$\frac{1}{n-1} = 0,64 \text{ и } n = 2,56 \simeq \frac{5}{2}.$$

Величины p_0 и α зависят от механического состава взвешенных наносов.

Таким образом, содержание наносов в потоке будет $\alpha v_0^{5/2}$; α будет мало меняться, если мало изменяется механический состав наносов.

При другой скорости течения v_1 содержание таких же наносов будет $\alpha v_1^{5/2}$; с другой стороны, при сохранении удельного расхода воды постоянным и равным q содержание наносов в этом случае будет p_1 . Следовательно, будем иметь и здесь

$$\alpha v_1^{5/2} = p_1 q.$$

$$\frac{p_1}{p} = \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^{5/2},$$

получим содержание наносов при изменившемся режиме

$$p_1 = p_0 \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^{5/2}.$$

Количество осевших наносов, если $v_1 < v_0$, может быть получено по наименьшему содержанию наносов в потоке

$$p_0 - p_1 = p_0 \left[1 - \left(\frac{v_1}{v_0} \right)^{5/2} \right]. \quad (7)$$

Полученная формула не даёт возможности устанавливать длину участка, на которой произойдёт изменение содержания в потоке наносов от p_0 до p_1 при изменении скорости от v_0 до v_1 , следовательно, применить её к расчёту отстойников нельзя.

Кроме того, при частичном осветлении потока начнут вынадать в первую очередь преимущественно крупные фракции наносов, и характер остающейся взвеси изменится тем сильнее, чем большее осветление потока проводится. Поэтому и коэффициент α не может оставаться постоянным даже приблизительно.

Затем, показатель степени n получился равным примерно $5/2$ при условии, что показатель степени H в формуле Кеннеди равен 0,64. Исследования же ряда каналов, хотя бы в Средней Азии, с иным характером наносов, чем в реках Ченаб и Сетледж, с наносами которых имел дело Кеннеди, говорят о том, что и показатель степени H не остаётся постоянным.

Проф. Гостушкин была предложена такая схема осветления потока при изменившихся гидравлических условиях (1).

Если выделить в турбулентном потоке с изменившимися гидравлическими условиями некоторый отсек, ограниченный вертикальной цилиндрической поверхностью с площадью поперечного сечения F и глубиной h , то в известный момент времени t он будет иметь некоторую насыщенность взвешенными наносами ρ кг/м³, большую или меньшую критической мутности ρ_k , в зависимости от того, увеличилась или уменьшилась скорость течения потока. При этом в обоих этих случаях ρ_k будет равно: неразмывающая мутность, которой поток стремится достичь при увеличении скорости течения (в этом случае $\rho < \rho_k$), и незаилающая, которой поток стремится достичь при уменьшении скорости течения (в этом случае $\rho > \rho_k$). Незаилающая критическая мутность, которая и имеется в виду при расчёте отстойников, должна быть выше неразмывающей мутности. В дальнейшем будет иметься в виду ρ_k — критическая незаилающая мутность, при достижении которой, следовательно, поток не может больше отлагать наносы при тех же гидравлических условиях.

Таким образом, процесс осветления потока будет происходить за счёт мутности $(\rho - \rho_k)$. Если скорость падения наносов в турбу-

лентном потоке полагать равной c , то количество выпавших наносов за время dt будет

$$(p - p_k) F c dt.$$

Изменение мутности (кг/м^3) в отсеке за это время будет

$$-dp = \frac{(p - p_k) F c dt}{F h} = \frac{p - p_k}{h} c dt$$

или

$$-\frac{dp}{p - p_k} = \frac{c}{h} dt. \quad (8)$$

Для однородных наносов автор считает c постоянной и независимой ни от времени, ни от мутности¹. Глубина потока также принимается постоянной. Тогда интегрирование выражения (8) даёт

$$-\ln(p - p_k) = \frac{ct}{h} + C.$$

Постоянная C определится из начальных условий: при $t = 0$ мутность $p = p_0$, где p_0 — мутность потока в начале отстойника, равная мутности реки или подводящего канала. Подставляя начальные условия в полученное уравнение, получим

$$C = -\ln(p_0 - p_k).$$

Тогда

$$-\ln(p - p_k) = \frac{ct}{h} - \ln(p_0 - p_k)$$

или

$$\ln \frac{p_0 - p_k}{p - p_k} = \frac{ct}{h},$$

отсюда

$$\frac{p_0 - p_k}{p - p_k} = e^{\frac{ct}{h}} \quad (9)$$

$$p = p_k + (p_0 - p_k) e^{-\frac{ct}{h}}. \quad (10)$$

Полагая, что рассматриваемый отсек перемещается со скоростью v , равной средней скорости потока, можем написать

$$t = \frac{x}{v},$$

где x — длина пути, пройденного отсеком за время t . Заменяя этим выражением t в формуле (10), а получаемое произведение hv через

¹ Первоначальные предположения автора, приведшие его к созданию новой теории, допускали даже, что вообще при мельчайших наносах (например, в Аму-Дарье) нет смысла их разделять на фракции и что характер выпадения их будет определяться только мутностью потока.

q — удельный расход воды, получим уравнение динамики мутности в отстойнике.

$$\rho = \rho_k + (\rho_0 - \rho_k) e^{-\frac{cx}{q}} \text{ кг/м}^3. \quad (11)$$

Полученная формула характеризует изменение мутности по длине потока, т. е. в зависимости от x , при изменившихся гидравлических условиях и при определённом c , характеризующем взвешенные наносы. Для смеси наносов c представляет некоторую среднюю скорость падения, об определении которой будет сказано ниже.

Длина отстойника l для получения заданной мутности в конце его получится из формулы (11) при $x = l$:

$$l = \frac{q}{c} \ln \frac{\rho_0 - \rho_k}{\rho - \rho_k}. \quad (12)$$

Для установления необходимой длины отстойника надо знать желательную мутность ρ в конце его и критическую мутность в нём ρ_k при тех гидравлических условиях, которые создаются в отстойнике. Определение этих мутностей производится следующим образом.

Критическая незапляшущая мутность каналов ρ_{kk} по эмпирической формуле инж. Г. С. Чекулаева выражается в виде

$$\rho_{kk} = \alpha \sqrt{vRI}, \quad (13)$$

где v — средняя скорость потока,

R — гидравлический радиус,

I — уклон потока.

Коэффициент α зависит от состава взвешенных наносов и может быть выражен формулой

$$\alpha = \frac{180}{\sqrt{w_0}}, \quad (14)$$

где w_0 — гидравлическая крупность наносов (мм/сек.).

Эта формула для α получена на основании опытов в САНИИРИ в 1935 г.

Для фракционного состава наносов в низовьях Аму-Дарьи, представленного в таблице 20, средняя гидравлическая крупность наносов принималась $w_0 = 0,16$ мм/сек. (по Хавену). Для этого значения w_0 коэффициент $\alpha = 450$.

Значение критической незапляшущей мутности может быть определено и по другим формулам, полученным рядом специалистов на базе среднеазиатской ирригации (78). Если рассматривать отстойник как расширенный канал, то и к нему применимы приводимые формулы для ρ_{kk} , по которым и может быть определена критическая мутность в нём ρ_k . Эта мутность ниже критической мутности в канале ρ_{kk} , поскольку скорости течения в отстойнике обычно значительно ниже, чем в канале. Поэтому ρ_k в отстойнике никогда не достигается. Получаемая же в конце отстойника мут-

Объекты	Относительная мутность			
	Общая (г/м³)	в процентах по фракциям		
		0,25—0,05 мм	0,05—0,01 мм	< 0,01 мм
Аму-Дарья	3,9	7	21	72
Южный Хорезм				
Сана	2,5	9	30	61
Маг. каналы	3,4	8	20	72
Распределители	3,2	10	26	64
Чимбайский район				
Магистраль	4,0	5	25	70
Распределители	4,4	3	20	77
Мелкая сеть	3,0	3	20	77

ность $p > p_k$. Чтобы канал не заилился, очевидно мутность выходящего из отстойника потока p_{x-1} не должна быть больше критической мутности в канале p_{kk} :

$$p_{x-1} \leq p_{kk}.$$

Если угрожаемые по заилению каналы находятся на значительном расстоянии от отстойника, то необходимо учесть ещё потери воды на этом участке. Если коэффициент полезного действия системы от отстойника до рассматриваемого канала будет η , то для обеспечения незаиляемости этого канала необходимо мутность p_{x-1} принимать соответственно меньше критической мутности канала, а именно

$$p_{x-1} = \eta p_{kk}.$$

При этом следует иметь также в виду, что при очень низком η может получиться p_{x-1} слишком малым и начнется размыв канала, непосредственно примыкающего к отстойнику. Тогда этот последний необходимо крепить или повысить несколько p_{x-1} с таким расчетом, чтобы оно было не меньше неразмывающей мутности для примыкающего канала.

Скорость выпадения наносов в потоке c , неправильно называемая автором гидравлической крупностью, определялась опытами в специально сконструированном циркуляторе и циркуляционном лотке, по которым прогонялась гидромасса в течение нескольких часов—до установления более или менее постоянной мутности в ней. Полученный характер осветления гидромассы по времени представлен на рисунке 139, т. е. он соответствует виду кривой по формуле (14). Подобный же вид кривой динамики мутности по длине

получен проф. Гостунским в опытах 1932 г. на шести оросителях в Голодной степи. Все опыты проводились с лёссовыми грунтами, преобладающая гидравлическая крупность которых, по утверждению автора, была 0,17 мм/сек., что соответствует (по Хазену) диаметру частиц $d=0,011$ мм.

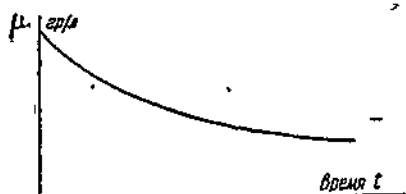


Рис. 139. Характер осветления гидро-массы по времени в опытах проф. Гостунского.

На основании всех опытных исследований среднее значение скорости c получилось также 0,16 мм/сек. Это и дало основание автору назвать с гидравлической крупностью γ наносов. Однако по другим исследованиям в циркуляторе, связанным с проектированием отстойника для Вахшской оросительной системы, такое соответствие далеко не

наблюдается. В таблице 21 даются результаты этих исследований.

Т а б л и ц а 21

Наименование материала	Гидравлическая крупность ядра смеси (см/сек.)	Скорость c (см/сек.)	Примечание
Саларский песок	3,0	0,26	Мелкий песок
Репетекский »	1,8	0,20	
» — »	2,8	0,21	
Лёсс	0,05	0,074	

Как видим, лишь для более мелких наносов значения гидравлической крупности ядра смеси и скорости c сближаются, для песка же они разнятся в десять раз. Исследования отстойников в натуре (77) показывают, что наносы при выпадении сортируются, т. е. крупность их в отложениях уменьшается по направлению течения даже при мельчайших фракциях. Следовательно, нельзя считать состав взвешенных наносов по длине отстойника постоянным. А раз меняется состав наносов, то должна изменяться и скорость их выпадения, т. е. c является функцией x .

На основании материалов исследований отстойника Куль-Арык инж. Большаковым были произведены расчёты по определению коэффициента α в формуле Чекулаева (13) при определении значения ρ_k по формуле Гостунского (11) при скорости выпадения наносов (Амударьинских) $c=0,45$ мм/сек., принимавшейся условно постоянной для различных глубин и скоростей в отстойнике, т. е. при значительном выпадении наносов и при почти полном отсутствии выпадения их (при больших скоростях течения).

Критическая мутность по формуле (14) будет

$$\rho_k = \frac{p - k\rho_0}{1 - k},$$

где $k = e^{-\frac{cx}{q}}$.

Тогда коэффициент α по формуле Чекулаева будет:

$$\alpha = \frac{p_k}{\sqrt{vRI}} = \frac{p - kp_0}{(1-k)\sqrt{vRI}}$$

Результаты подсчётов приведены в таблице 22.

Таблица 22

Дата	№ п.к.	Расстояние и (м)	Глубина $h_{\text{ср}}$ (м)	Скорость v (м/сек.)	Расход воды q м ³ /сек.	$\frac{u}{q}$	k	p_0 (г/м)	p (г/м)	p_k (г/м)		Коэффициент α
13/VI	3—11	800	1,44	0,43	0,49	0,73	0,49	2,48	2,30	2,48	$8 \cdot 10^{-5}$	345
13/VI	11—20	900	1,60	0,26	0,42	0,97	0,38	2,30	1,61	1,49	$77 \cdot 10^{-5}$	210
13/VI	20—29	900	2,40	0,21	0,50	0,81	0,45	1,61	1,43	1,29	$5 \cdot 10^{-5}$	260
29/VI	3—11	800	1,00	0,44	0,44	0,82	0,45	3,37	2,40	1,60	$5 \cdot 10^{-5}$	340
29/VI	11—20	900	1,50	0,30	0,45	0,90	0,41	2,40	1,79	1,37	$5 \cdot 10^{-5}$	290
29/VI	20—29	900	2,50	0,23	0,57	0,71	0,49	1,79	1,01	0,25	$18 \cdot 10^{-5}$	80
13/VIII	3—11	800	1,35	0,55	0,74	0,49	0,62	3,41	2,99	2,80	$9 \cdot 10^{-5}$	280
13/VIII	11—20	900	1,88	0,44	0,83	0,49	0,62	2,99	2,52	1,76	$8 \cdot 10^{-5}$	214
13/VIII	20—29	900	1,82	0,44	0,80	0,51	0,60	2,52	2,53	2,54	$5 \cdot 10^{-5}$	400
24/VIII	3—11	800	1,23	0,56	0,69	0,52	0,60	2,00	2,40	3,00	$85 \cdot 10^{-5}$	400
24/VIII	11—20	900	1,34	0,56	0,75	0,54	0,59	2,40	2,76	3,30	$75 \cdot 10^{-5}$	430
24/VIII	20—29	900	1,21	0,60	0,72	0,56	0,58	2,76	2,51	2,16	$3 \cdot 10^{-5}$	460

Как видим, в тех случаях, когда мутность поступающего в отстойник потока p_0 и критическая мутность для гидравлических условий отстойника p_k почти равны, т. е. когда наносы почти не выпадают, коэффициент α колеблется в пределах 400—460, как и установлено Чекулаевым для Амударьинских наносов. Но как только p_k становится значительно меньше p_0 , т. е. в отстойнике происходит существенное выпадение наносов, коэффициент α резко снижается, что противоречит вышеприведённой формуле

$$\alpha = \frac{180}{\sqrt{w_0}}$$

по которой следует, что с уменьшением крупности наносов к концу отстойника при одинаковых гидравлических условиях α должно расти.

При уменьшении величины s до 0,17 мм/сек., принятой в проекте данного отстойника, коэффициент α будет меньше приводимых в таблице значений.

Такая несогласованность результатов исследований с проектными предположениями объясняется, очевидно, с одной стороны, неправильным назначением величины s для состава наносов изменяющегося по длине отстойника и, с другой — неправильным распро-

странением эмпирической формулы Чекулаева с коэффициентом $\alpha = 400-450$ на отстойники с достаточно малыми скоростями течения.

В связи с таким расхождением теории с практикой, которое, несомненно, наблюдал и сам автор, проф. Гостунский в дальнейшей своей работе (29) делает попытку установить расчётную скорость выпадения смеси c . При этом основным условием для получения выражения скорости c он ставит достижение такого же эффекта отстаивания смеси, какой получается и при однородных наносах, имеющих ту же скорость выпадения c .

Выводы сводятся к следующему.

По опытам в циркуляторе установлено, что при выпадении наносов c изменяется с течением времени, приближаясь асимптотически к некоторой постоянной величине. Поэтому в отстойнике c будет изменяться по длине его по некоторой кривой, для выражения которой автор принимает уравнение второго порядка

$$c = Ax^2 + Bx + C.$$

Параметры A , B и C определяются из следующих условий:

- 1) в начале отстойника при $x = 0$ $c = c_0$,
отсюда $C = c_0$;
- 2) в конце отстойника при $x = l$ $c = c_1$,
отсюда $c_1 = Al^2 + Bl + c_0$;
- 3) при $x = l$ кривая параллельна оси x , т. е.

$$\frac{dc}{dx} = 0.$$

Значит $2Al + B = 0$.

Решая совместно два последних уравнения, находим:

$$A = \frac{c_0 - c_1}{l^2} \text{ и } B = -\frac{2(c_0 - c_1)}{l}.$$

Формула (8)

$$-\frac{d\rho}{\rho - \rho_k} = \frac{c}{h} dt$$

преобразовывается путём замены $h = \frac{q}{\psi} = \frac{q dt}{dx}$ в следующую:

$$-\frac{d\rho}{\rho - \rho_k} = c \frac{dx}{q}.$$

Интегрируя, аналогично ранее изложенному, получим

$$\ln \frac{\rho - \rho_k}{\rho_0 - \rho_k} = -\frac{cx}{q} \left(\frac{A}{3} x^2 + \frac{B}{2} x + C \right),$$

отсюда

$$\rho = \rho_k + (\rho_0 - \rho_k) e^{-\frac{cx}{q} \left(\frac{A}{3} x^2 + \frac{B}{2} x + C \right)}.$$

Если необходимая мутность в конце отстойника (при $x=l$) будет ρ_1 , то имеем

$$\ln \frac{\rho_1 - \rho_k}{\rho_0 - \rho_k} = -\frac{l}{q} \left(\frac{A}{8} l^2 + \frac{B}{2} l + C \right).$$

Подставляя значения A , B и C , получим:

$$\ln \frac{\rho_1 - \rho_k}{\rho_0 - \rho_k} = -\frac{l}{q} \cdot \frac{c_0 + 2c_1}{3},$$

отсюда длина отстойника

$$l = \frac{3q}{c_0 + 2c_1} \ln \frac{\rho_0 - \rho_k}{\rho_1 - \rho_k}.$$

Сравнивая с полученной ранее формулой для l (12), видим, что для получения одной и той же длины отстойника при одинаковой мутности в конце его ρ_1 для однородных наносов необходимо, чтобы

$$c = \frac{c_0 + 2c_1}{3}. \quad (15)$$

При другом значении x (меньшем l) выражение для c будет иное.

При этом следует иметь в виду, что c_0 и c_1 — это скорости выпадения смесей отлагающихся наносов, а не всей смеси в целом, поскольку при выпадении происходит известного рода сортирование их. Установление значений c_0 и c_1 в связи с этим встречает значительные трудности, если не обратиться к рассмотрению процесса выпадения по фракциям, но и этот последний метод при наличии вторичного замучивания мельчайших фракций также не обеспечит достаточной точности при разрешении поставленной задачи.

Если ещё величина c_1 для выходящей из отстойника смеси более или менее приближённо может быть установлена на основании данных по составу наносов, отлагающихся в голове защищаемого отстойником канала, то для установления величины c_0 нет достаточных оснований и здесь необходимы серьёзные опытные исследования. Трудность вопроса осложняется ещё и тем, что нам совершенно почти неизвестно соотношение гидравлической крупности наносов ω_0 и скорости осаждения их в турбулентном потоке, отжествляемых проф. Гостунским.

Таким образом, новая теория выпадения наносов, в которой автор оперирует со всей смесью наносов, постепенно приводит автора к необходимости дифференцированного рассмотрения наносов по фракциям, что, несомненно, обеспечит большую точность расчётов.

Кроме указанных затруднений при применении рассмотренной теории, следует также отметить и те ограничения или допущения, которые сделаны при выводе её. Они сводятся к следующему:

1. Распределение наносов по вертикали считается равномерным, что возможно лишь при очень мелких наносах и при относительно значительных скоростях течения. С увеличением же скорости течения, как известно, кубатура отстойника растёт.

2. При больших скоростях течения выпадающие наносы будут вторично взмучиваться. Это обстоятельство в теории учитывается скоростью выпадения наносов c , поскольку в опытах получается суммарный результат выпадения и взмучивания. Допущением того, что остающиеся после частичного выпадения наносы в отсеке вновь распределяются равномерно по высоте, отчасти также учитывается процесс завешивания, что при малых скоростях течения в отстойнике или при наличии песчаных наносов может и не иметь места.

3. Принимаемая вначале постоянной скорость выпадения наносов c при последованиях оказалась переменной и зависящей от содержания и состава наносов, что приводит к целесообразности расчленения взвеси на фракции. Кроме того, здесь в самой теории есть известное противоречие. Для однородных мельчайших наносов причиной выпадения считается содержание наносов в потоке (ρ), поскольку при ρ_k те же частицы выпадения не дают, и по опытам оказалось, что $c = f(\rho)$. При выводе же уравнения динамики мутности величина c считается постоянной по времени, тогда как ρ меняется по мере осветления потока.

Таким образом, единственной причиной неравномерности выпадения наносов по длине считается переменное по длине ρ . При малом насыщении потока наносами влияние его на скорость выпадения частиц действительно незначительно (40). Но тогда в теории проф. Гостунского остаётся единственно новое обстоятельство, по сравнению с прежними теориями, — это непрерывное перемешивание остающихся в отсеке наносов до равномерного распределения их по объёму, что с известным допущением возможно для мельчайших наносов при относительно значительных скоростях. Это обстоятельство требует весьма осторожного подхода к применению теории и особенно при выборе скоростей течения в отстойниках, которые должны назначаться соответственно составу взвешенных наносов: тем больше должна быть принята v , чем крупнее наносы, в противном случае (при отсутствии хорошего перемешивания) рискуем чрезмерно преувеличить длину проектируемого отстойника.

Поскольку изменение c по длине потока, в зависимости от состава и содержания наносов в нём, пока не изучено, не представляется возможности построить с известной уверенностью характер поверхности отложений наносов в отстойнике, что связано с проектированием очистных устройств, формы дна и вообще с расчётом, поскольку это обстоятельство обуславливает изменение глубины потока по длине. На величину c влияет также и скорость течения воды v , что в теории пока никак не учитывается и даже не упоминается об этом, тогда как ряд опытных исследований по вертикальной составляющей скорости в потоке и (завешивающей наносы) показывает, что и растёт пропорционально v .

4. Введение ρ_k для отстойника является обстоятельством, весьма осложнившим применение теории, поскольку сам по себе вопрос о критической незаплавляющей мутности потоков ещё далеко не разрешён. В связи с этим приходится пользоваться для установления ρ_k эмпирическими формулами местного значения, полученными на

основе изучения каналов с относительно большими скоростями, и потому перенос их на отстойники не может не вносить часто значительные погрешности, ограничивая вообще сферу применения теории.

5. При выводе формулы динамики мутности глубина потока считалась постоянной по длине и не изменяющейся по времени. Если последнее обстоятельство можно учесть просто путём расчленения всего периода заплыва отстойника на малые промежутки времени, в течение которых h можно считать постоянной, то изменение глубины по длине при неравномерном выпадении наносов потребует специального рассмотрения вопроса, поскольку по мере отложения наносов будет меняться не только средняя глубина, но и будет создаваться всё большая и большая неравномерность её по длине.

Учёт переменной глубины потока по длине его хотя бы в простейшем предположении — равномерного изменения — приведёт к следующему.

Если h_0 — глубина в начале отстойника, а i — уклон дна его, то глубина h_x на расстоянии x от начала будет

$$h_x = h_0 + ix.$$

Средняя глубина на участке x

$$h_{cp} = \frac{h_0 + h_x}{2} = h_0 + \frac{i}{2} x.$$

Уравнение (8) для переменной глубины переписывается так:

$$\frac{d\rho}{\rho - \rho_k} = \frac{c}{h_x} dt. \quad (16)$$

Так как $t = \frac{x}{v_{cp}}$, где v_{cp} — средняя скорость на участке x , или

$$t = \frac{x h_{cp}}{v_{cp} \cdot h_{cp}} = \frac{x h_{cp}}{q} = \frac{x \left(h_0 + \frac{i}{2} x \right)}{q}$$

и

$$dt = \frac{h_0 + ix}{q} dx,$$

то, подставляя h_x и dt в уравнение (16), получим:

$$\frac{d\rho}{\rho - \rho_k} = \frac{2c (h_0 + ix)}{q (2h_0 + ix)} dx.$$

Если представить в виде уравнения второй степени от x , то получим:

$$\frac{d\rho}{\rho - \rho_k} = \frac{2 (Ax^2 + Bx + C) (h_0 + ix)}{q (2h_0 + ix)} dx,$$

что приводит к чрезвычайно сложной зависимости.

Настоящее состояние теории проф. Гостунского, как показавший детальный анализ её, требует дальнейших исследований, которые, в основном, будут сводиться к установлению характера отложения и распределения наносов в отстойнике. Без разрешения этих вопросов не представится возможным с достаточной точностью устанавливать значения c_0 и c_1 для смесей наносов, а в связи с этим и расчётное значение c^1 .

Таким образом, новые пути к разрешению весьма сложного вопроса, намеченные проф. Гостунским, на первый взгляд казавшиеся упрощающими задачу (поскольку не приходится иметь дело с отдельными фракциями), в действительности потребовали рассмотрения составов смесей и учёта влияния их на динамику мутности в потоке, т. е. возврата к основам прежней теории, рассматривающей выпадение наносов дифференцированно — по фракциям.

Мы довольно детально остановились на теории проф. Гостунского, потому что она за последнее время применена в ряде проектов ирригационных отстойников на Среднеазиатских системах и получает там всё более широкое распространение.

Кроме основных теоретических положений по выпадению наносов, в практике проектирования отстойников приходится разрешать ряд вопросов, вызываемых конструктивными особенностями сооружений.

Все рассмотренные теории предусматривали постоянство скорости течения по вертикали и по длине потока и постоянство глубины, тогда как нередко случаи, когда ширина и глубина отстойника изменяются. Даже при постоянной принятой глубине отстойника фактически в периодически очищаемых отстойниках она будет переменной по длине и по времени вследствие отложений наносов. Следовательно, и скорость течения не остаётся постоянной по длине. Изменение скорости по вертикали при наличии разбивательных решёток при входе в отстойник может не иметь существенного влияния на характер выпадения наносов, поскольку скорости выравниваются, но в условиях естественного потока (простые земляные отстойники без сооружения при входе), а также в непрерывно промываемых отстойниках Дюфура, где придонные скорости сильно возрастают, распределение скорости по вертикали следует учесть или, во всяком случае, дать себе отчёт о степени влияния её неравномерности на характер выпадения наносов. Очень важно учесть изменение скорости течения на протяжении всего периода занесения отстойника до предела, поскольку это весьма существенно отражается на количестве отлагающихся наносов. Поэтому нельзя вести расчёт камер отстойника на одно состояние, т. е. когда камеры предельно занесены (как это обычно принято делать), поскольку в подобных случаях сами теории не дают методики их применения.

¹ По исследованиям Хачатрян с оказалась значительно больше принимавшейся при расчётах по формуле Гостунского.

В непрерывно промываемых отстойниках (типов Дюфура, Д. Я. Соколова) возникает вопрос о вертикальной нисходящей скорости, появляющейся в результате отвода промывного расхода в дне по всей длине камер. Учёт этой скорости сокращает длину камер. Но точного знания распределения этой скорости по вертикали и по длине нет.

Назначение расчётной величины фракции производится без достаточно убедительных оснований. Это происходит часто вследствие отсутствия достаточно подробных сведений о наносах, а чаще вследствие вообще недостаточных сведений о величине и количестве опасных фракций наносов для проектируемого предприятия. В результате даже весьма точно рассчитанные отстойники могут оказаться неудовлетворяющими производство. Опыт эксплуатации наших гидростанций показал, что наличие даже мельчайших наносов (ила) в потоке обусловило довольно быстрый износ некоторых деталей турбин (82).

Совсем не затронут вопрос об изучении формы песчинок и их влияния на скорость выпадения, а следовательно; и на размеры отстойника. Отсутствие детальных гидрологических данных по наносам, с одной стороны, и незнание степени износа турбины под действием того или иного состава и количества наносов, с другой стороны, не позволяют проводить расчёты на высокой точности, если бы даже существующие теории и обеспечивали её.

В приращении же расчёт отстойников тесно связан с заиляемостью каналов, теория расчёта которых ещё далеко не разрешена. Кроме того, заиление каналов связано с порядком эксплуатации их. Резкие изменения расходов воды в них часто являются основной причиной заиления каналов. Всё это требует одновременного разрешения не только сопряжённых теоретических проблем (заиление каналов), но и серьёзной реконструкции самих приращационных систем и их эксплуатации.

Таким образом, можем констатировать, что ни одна из существующих теорий не доведена до практического применения, все они требуют ещё выяснения ряда вопросов, связанных с конкретным проектированием отстойников. Вопросами практического применения существующих теорий занимался ряд наших специалистов: Д. Я. Соколов, И. И. Левин, Е. А. Замарин и др. По вопросу распределения скоростей в отстойниках Дюфура провёл исследования аспирант Чавтораев¹.

В связи с изложенным, нами были предприняты широкие опытные исследования по выпадению наносов, в основном проведённые во ВНИИГИМ², а также проведён ряд чисто теоретических выводов и обоснований, не требовавших специальных опытов. Результаты наших исследований излагаются ниже, в связи с рассмотрением теории расчёта отстойников в целом.

¹ См. диссертацию тов. Чавтораева на степень кандидата технических наук, 1941, архив МГМИ.

² Начаты эти опыты ещё в СНИИРИ в период 1931—1932 гг.

СУЩНОСТЬ ПРЕДЛАГАЕМОЙ ТЕОРИИ РАСЧЁТА РАЗМЕРОВ ОТСТОЙНЫХ КАМЕР

Основные положения нашей методики исследований и теорий расчёта размеров отстойников, базирующейся на них, сводятся к следующему:

1. Полагая, что не только качественная характеристика наносов (крупность, твёрдость, острогранность) имеет значение для проектируемых предприятий, но и количество их имеет весьма существенное влияние, а иногда и решающее (как, например, в ирригации), считаем совершенно необходимым при проектировании отстойников как ирригационных, так и для гидростанций учитывать степень осветления потока. В ирригации этот принцип всегда имеется в виду, поскольку степень насыщения потока наносами тесно связана с залплением каналов, в гидростанциях же он не получил должного применения. Предложение проф. Велпканова вводит этот принцип и в расчёт этих последних отстойников.

Установление степени осветления потока неизбежно связано с изучением характера выпадения наносов по его длине. Поэтому основной целью наших исследований и явилось установление характера распределения наносов на дне потока при их выпадении.

2. Из своих личных наблюдений, а также из опытов инж. Буркова и других известно, что частицы данной крупности, пущенные в поток на одной определённой глубине, не выпадают на дно в одной точке, а рассеиваются на некоторой зоне по длине потока. Это обосновано и теоретическими рассуждениями проф. Велпканова. Чтобы установить закон распределения выпадающих на дно частиц, нами и были предприняты опыты в лаборатории. С целью учёта влияния некоторых факторов, как формы частиц, их веса и размеров, нами были предприняты сначала опыты с точными формами частиц — шариками и круглыми пластинками — разных удельных весов и размеров, причём каждый опыт проводился с частицами определённого размера, формы и веса. Нами проводились опыты с тяжёлыми частицами удельного веса больше 1 (поскольку нас интересовали те усреднённые скорости, с которыми поток действует на частицы за время их выпадения). Эти опыты позволили положить в основу дальнейшей теории закон нормального распределения частиц на дне (по кривой Гаусса).

3. При указанном законе распределения частиц на дне, при откладывании от моды кривой по 3σ в обе стороны (где σ — квадратичное отклонение частиц от моды кривой), получим зону длиной в 6σ , в пределах которой будут выпадать 99,7% всех частиц (правило 3σ). Следовательно, можем с вполне достаточной точностью крайним дальним пределом выпадения данных размеров частиц считать $L_{\max} = a + 3\sigma$, где a — расстояние от места пуска частиц до моды (вершины) кривой Гаусса. Крайний ближний предел будет $L_{\min} = a - 3\sigma$.

4. Естественные наносы состоят из частиц весьма разнообразных форм, а при существующем методе их механического анализа по фракциям в каждой фракции будут содержаться частицы и разных размеров, определяемых пределами фракции; поэтому для установления характера выпадения естественных наносов были проведены специальные исследования для ряда фракций. Эти опытные исследования послужили для проверки положенного в основу дальнейших вычислений метода определения характера отложений естественных наносов, заключающегося в следующем.

В рассматриваемой фракции принимается равномерное содержание частиц различных крупностей в её пределах. Это даёт нам право принять с известным приближением закон нормального распределения данной фракции наносов на дне при выпадении из данной точки потока (элементарная кривая отложений) и по крайним пределам $L_{\max}$ и $L_{\min}$ определить зону выпадения σ (где σ — квадратное отклонение частиц песка от моды кривой), а затем и самое σ , по которому и можно вычислять форму элементарной поверхности отложений для фракции, пользуясь уравнением кривой Гаусса (рис. 160).

5. Для установления длины участка, на которой произойдёт желательное осветление потока, необходимо знать характер отложений всех фракций наносов по длине его, считая поток беспредельной длины. Эта задача нами решается пофракционно, т. е. находятся поверхности отложений отдельных фракций и затем они графически суммируются. Для построения поверхности отложений отдельных фракций из всего потока глубиной H применён графо-аналитический метод с графическим интегрированием элементарных поверхностей отложений по каждой фракции, получаемых при выпадении из элементов потока высотой ΔH , на которые делится вся глубина H . Принятый метод приближённого интегрирования даёт вполне достаточную точность и применим при любой эпюре распределения наносов по вертикали. Полученная поверхность отложений всех фракций наносов позволяет построить интегральную кривую отложений по длине, по которой, при заданной обеспеченности осветления потока, и устанавливается необходимая длина отстойника (рис. 166). Одновременно интегральная кривая, построенная для отложений наносов в 1 секунду из единицы объёма воды, позволяет получить и динамику мутности потока по длине отстойника как по отдельным фракциям, так и для всей смеси наносов, если известно содержание их и состав в начальном сечении отстойника (рис. 170).

Глава XVII

ОСНОВЫ ТЕОРИИ ВЫПАДЕНИЯ НАНОСОВ В ОТСТОЙНИКАХ

При изучении характера отложений смеси наносов по элементарным кривым отложений по отдельным фракциям необходимо устанавливать расстояние от начального сечения до вершины

(моды) этих кривых L'_{cp} , L''_{cp} (рис. 160). Эти величины будут зависеть от гидравлических элементов потока и от характера наносов и будут определяться траекториями падения частиц в потоке, установлению которых и посвящается специальный раздел.

ТРАЕКТОРИИ ПАДЕНИЯ ЧАСТИЦ

Рассмотрение движения частиц удобно вести независимо по вертикали и горизонтали, а затем траектории частиц получать путём наложения движений.

Движение частиц по вертикали

Принимаем пока условно скорость перемещения частицы в горизонтальном направлении равной 0.

Падение частицы в воде по вертикали будет происходить вообще с ускорением $j = \frac{d^2y}{dt^2}$, если ось y направить вниз, считая начало координат на поверхности воды, а ось x по горизонтали вправо. Тогда уравнение движения напишется так:

$$mj = P, \quad (17)$$

При этом мы допускаем, что начальная скорость падения частицы $w = 0$.

Здесь: m — масса частицы в воде, P — действующие силы по направлению движения.

Масса частицы в воде будет:

$$\frac{V(\delta_1 - \delta)}{g},$$

где δ_1 и δ — удельные веса частицы и воды

и V — объём частицы.

Действующие силы будут: вес частицы в воде $V(\delta_1 - \delta)$ и сопротивление воды, определяемое при распространении квадратичного закона сопротивления на весь процесс падения по формуле Эри

$$CF \frac{w^2}{2g},$$

где C — коэффициент сопротивления,

F — наибольшее поперечное сечение частицы, нормальное к направлению движения её, и

w — переменная скорость падения частицы.

Подставляя полученные значения в уравнение (17), будем иметь:

$$\frac{V(\delta_1 - \delta)}{g} \frac{d^2y}{dt^2} = V(\delta_1 - \delta) - CF \frac{w^2}{2g}.$$

Так как

$$w = \frac{dy}{dt},$$

то, заменяя w и деля на $\frac{V(\delta_1 - \delta)}{g}$, получим дифференциальное уравнение движения частицы по вертикали по времени:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{CF}{2V(\delta_1 - \delta)} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 - g = 0. \quad (18)$$

Здесь коэффициент сопротивления C является величиной, зависящей от крупности и формы частиц и свойств среды — в данном случае воды. Так как мы имеем дело всегда с водой, то свойства среды будут постоянными при заданной температуре её.

На основании наших исследований по коэффициенту сопротивления C для естественных песков имеем следующую зависимость его от числа Рейнольдса, выражаемого в виде

$$R_e = \frac{w_0 d}{\gamma}$$

(здесь d — средний диаметр частиц, w_0 — гидравлическая крупность их и γ — кинематическая вязкость воды, принимаемая нами постоянной для расчётных условий)

$$C = \frac{8,54}{R_e^{0,22}}. \quad (19)$$

По исследованиям Крея коэффициент сопротивления C при скоростях падения, нас интересующих, будет мало изменяться. Таким образом, с известным приближением, допустимым для наших целей, можем считать C независимым от w и постоянным для заданных значений δ , w_0 и γ .

Если частица достигла равномерной скорости падения, то уравнение (18) преобразуется следующим образом. Так как тогда в уравнении (18) будет $\frac{d^2y}{dt^2} = 0$, то получим

$$\frac{CF}{2V(\delta_1 - \delta)} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 - g = 0. \quad (20)$$

Отсюда можем найти выражение скорости равномерного падения частицы w_0 , которая равна $\frac{dy}{dt}$, а именно:

$$w_0 = \sqrt{\frac{V(\delta_1 - \delta)^2 2g}{CF}}.$$

Это — предельная скорость падения частицы в спокойной воде¹. Уравнение (20) переписывается в виде:

$$\frac{CF}{2V(\delta_1 - \delta)} w_0^2 - g = 0, \quad (20a)$$

¹ Если рассматривать падение частицы в турбулентной среде, то эта скорость может быть иной, как больше, так и меньше w_0 . См. ниже опытные исследования.

Вычитая уравнение (20а) из (18) и заменяя $\frac{dy}{dt}$ через w , получим:

$$\frac{dw}{dt} + \frac{CF(w^2 - w_0^2)}{2V(\delta_1 - \delta)} = 0.$$

Разделяя переменные, будем иметь:

$$\frac{dw}{w_0^2 - w^2} = \frac{CF}{2V(\delta_1 - \delta)} dt.$$

Интегрируя, получим:

$$\frac{CF}{2V(\delta_1 - \delta)} t = \frac{1}{2w_0} \ln \frac{w_0 + w}{w_0 - w} + C_1$$

при $t = 0$ и $w = 0$. Отсюда и $C_1 = 0$

или

$$\ln \frac{w_0 + w}{w_0 - w} = \frac{CFw_0}{V(\delta_1 - \delta)} t = kt, \quad (21)$$

где

$$k = \frac{CFw_0}{V(\delta_1 - \delta)}.$$

Отсюда

$$\frac{w_0 + w}{w_0 - w} = e^{kt}. \quad (22)$$

или

$$w = w_0 \frac{e^{kt} - 1}{e^{kt} + 1}, \quad (22a)$$

Так выражается скорость падения частицы w в любой момент через предельную скорость w_0 . Чтобы найти выражение пройденного частицей пути в функции t , введём вместо w выражение $\frac{dy}{dt}$. Тогда получим:

$$dy = w_0 \frac{e^{kt} - 1}{e^{kt} + 1} dt.$$

Обозначим

$$e^{kt} - 1 = u.$$

Тогда

$$e^{kt} + 1 = u + 2 \text{ и } du = ke^{kt} dt.$$

Отсюда

$$dt = \frac{du}{ke^{kt}} = \frac{du}{k(u+1)}$$

$$dy = w_0 \frac{u}{u+2} \cdot \frac{du}{k(u+1)} = \frac{w_0}{k} \left[\frac{2}{u+2} - \frac{1}{u+1} \right] du.$$

Интегрируя, получим:

$$y = \frac{w_0}{k} [2 \ln(u+2) - \ln(u+1)] + C'.$$

При $t=0$ и $y=0$ и $u=0$, следовательно, C' будет равно

$$C' = -\frac{2w_0}{k} \ln 2.$$

Тогда, вводя значения u , получим выражение для пройденного пути в функции t :

$$y = \frac{w_0}{k} [2 \ln(e^{kt} + 1) - \ln e^{kt} - 2 \ln 2].$$

Преобразовываем путём прибавления и вычитания ко второму члену выражения величины $2 \ln e^{kt}$

$$y = \frac{w_0}{k} [2 \ln(e^{kt} + 1) - \ln e^{kt} + 2 \ln e^{kt} - 2 \ln e^{kt} - 2 \ln 2]$$

или

$$y = \frac{w_0}{k} \left[2 \ln \frac{e^{kt} + 1}{e^{kt}} + \ln e^{kt} - 2 \ln 2 \right].$$

Окончательно получим, имея в виду, что $\ln e^{kt} = kt$

$$y = w_0 \left[t - \frac{2}{k} \ln 2 + \frac{2}{k} \ln \left(1 + \frac{1}{e^{kt}} \right) \right] \quad (23)$$

или

$$y = w_0 \left[t + \frac{2}{k} \ln \left(0,5 + \frac{1}{2e^{kt}} \right) \right].$$

Выражение скорости w (форм. 22а) преобразуется, если разделить числитель и знаменатель на e^{kt} , и будет:

$$w = w_0 \frac{1 - \frac{1}{e^{kt}}}{1 + \frac{1}{e^{kt}}} \quad (23a)$$

С увеличением k , по мере уменьшения диаметра, w асимптотически приближается к w_0 . При сопротивлении падению частиц, пропорциональном квадрату скорости, k , примерно, обратно пропорционально d — диаметру частицы, если C считать функцией $\frac{w_0 d}{v}$.

Для установления того пути, на котором произойдёт практически достижение частицей скорости равномерного падения, аспирантом

¹ Выводы сделаны по Вотье, см. Гукер (30).

Г. А. Шагиновым были произведены подсчёты при условии, что расходимость w_0 и w не превышает $p\%$. При этом условии должно быть

$$\frac{w_0 - w}{w_0} 100 = p.$$

Отсюда

$$w = w_0 \left(1 - \frac{p}{100} \right) = w_0 (1 - q),$$

где

$$q = \frac{p}{100}.$$

Подставляя это значение w в уравнение (21) и вводя вместо $w_0 t$ высоту падения h за время t , получим

$$\ln \frac{2 - q}{q} = \frac{CF}{V(\delta_1 - \delta)} \cdot h.$$

При $q = 0,01$ находим значения h :

$$h = \frac{V(\delta_1 - \delta)}{CF} \ln \left(\frac{2}{q} - 1 \right). \quad (24)$$

Или, подставляя сюда значение C из уравнения (20) при замене

$$\frac{dy}{dt} = w_0$$

$$C = \frac{2gV(\delta_1 - \delta)}{Fw_0^2},$$

получим

$$h = \frac{w_0^2}{2g} \ln 199 = 5,3 \frac{w_0^2}{2g}.$$

По этой формуле и произведены подсчёты величины h для разных диаметров фракций песка (табл. 23).

Таблица 23

Фракции d (см)	0,09	0,4	0,9	1,75	2,50
w_0 (см/сек.)	0,95	5,3	8,05	11,90	14,40
h (см)	0,002	0,076	0,175	0,382	0,50

Как видим, практически частицы на чрезвычайно коротком пути приобретают скорость равномерного падения. Время, в течение которого это выравнивание происходит, также ничтожно, в чём легко убедиться, если поделить путь h на среднюю скорость падения, т. е. на $\frac{w_0}{2}$.

Таким образом, мы вправе пренебречь в уравнении движения членом, учитывающим ускорение частиц при условии сопротивления их выпадению, пропорционального ω^2 , что, примерно, будет иметь место при диаметре частиц $d > 0,2$ мм.

При более мелких частицах, когда сопротивление подчиняется закону Стокса (пропорционально скорости в первой степени и равно $3\pi\mu\omega d$), уравнения (18) и (20) будут иметь вид

$$\frac{V(\delta_1 - \delta)}{g} \frac{d^2 y}{dt^2} = V(\delta_1 - \delta) - 3\pi\mu \cdot d \cdot \omega$$

или

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{3\pi\mu d \cdot g}{V(\delta_1 - \delta)} \frac{dy}{dt} - g = 0. \quad (25)$$

При равномерном движении имеем (так как $\frac{d^2 y}{dt^2} = 0$ и $\frac{dy}{dt} = \omega_0$):

$$\frac{3\pi\mu g d \omega_0}{V(\delta_1 - \delta)} - g = 0. \quad (26)$$

Отсюда получается формула Стокса для скорости падения частиц

$$\omega_0 = \frac{2}{9} r^2 \frac{\delta_1 - \delta}{\mu} = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_1 - \rho}{\mu},$$

где

ρ_1 и ρ — плотности частицы и жидкости,
 μ — вязкость.

Вычитая уравнение (26) из (25), получим:

$$\frac{d\omega}{dt} + \frac{3\pi\mu g d}{V(\delta_1 - \delta)} (\omega - \omega_0) = 0.$$

Разделяя переменные

$$\frac{d\omega}{\omega_0 - \omega} = \frac{3\pi\mu g d}{V(\delta_1 - \delta)} dt$$

и интегрируя, получаем:

$$-\ln(\omega_0 - \omega) = \frac{3\pi\mu g d}{V(\delta_1 - \delta)} t + C$$

при $t = 0$ и $\omega = 0$.

Следовательно, $C = -\ln \omega_0$

и

$$\ln \frac{\omega_0}{\omega_0 - \omega} = \frac{3\pi\mu g d}{V(\delta_1 - \delta)} t = k_1 t,$$

где

$$k_1 = \frac{3\pi\mu g d}{V(\delta_1 - \delta)}.$$

Отсюда можем написать:

$$\frac{w_0}{w_0 - w} = e^{k_1 t}$$

или

$$w = w_0 \left(1 - \frac{1}{e^{k_1 t}} \right). \quad (27)$$

С уменьшением диаметра k_1 в данном случае быстрее возрастает, чем k в первом случае.

Действительно,

$$k_1 = \frac{3\pi\mu g d}{\frac{4}{3}\pi d^3 (\delta_1 - \delta)} = \frac{18\mu g}{d^2 (\delta_1 - \delta)},$$

т. е. k_1 растёт не обратно пропорционально d , как это имело место в первом случае, а обратно пропорционально d^2 .

Следовательно, для мельчайших частиц тем более будет допустимо пренебрежение влиянием ускорения их, поскольку второй член в скобках уравнения (27) будет быстрее приближаться к нулю.

Кроме того, нами условно принималась начальная скорость падения частицы равной 0, фактически же частица, находясь в потоке во взвешенном состоянии, при вступлении в отстойник может иметь уже некоторую абсолютную скорость падения, вследствие уменьшения скорости течения при входе в камеру.

Таким образом, уравнение (23) при k достаточно большом примет вид:

$$y = w_0 t. \quad (23б)$$

Или вообще $y = w_n t$, где w_n скорость равномерного падения частицы в турбулентной среде.

Величина k при диаметрах испытанных нами песчинок от 0,09 мм до 2,75 мм изменяется в пределах:

$$\text{при } d = 0,09 \text{ мм } k = 720$$

$$\text{» } d = 2,75 \text{ » } k = 72$$

При меньшем из указанных значений k ($= 72$) уравнение (23) примет вид:

$$y = w_0 \left[t + \frac{2}{72} \frac{\lg 0,5}{0,434} \right] \simeq w_0 [t - 0,019],$$

что даёт расходимость по сравнению с равномерным падением ($y = w_0 t$) при $t = 1$ сек. в 2%, при $t = 2$ сек. в 1% и т. д.

С уменьшением d эта расходимость будет совсем ничтожной. Поэтому в дальнейшем будем принимать, что частица падает в потоке с некоторой постоянной скоростью, равной скорости её падения в турбулентной среде.

При перемещении по горизонтали частица движется вместе с массой воды во взвешенном состоянии и потому она не может иметь иной скорости, чем поток. Только при изменении скорости потока частица может не сразу приобрести эту новую скорость вследствие инерции. Но рассмотрение падения частицы по вертикали дает нам основание считать, что и в данном случае частица будет мгновенно приобретать скорость потока при её изменении.

При равномерном распределении скорости потока по вертикали и при постоянной средней скорости потока движение частицы в горизонтальном направлении будет также равномерным, независимо от её положения в потоке. При неравномерном распределении скорости потока по вертикали и неравномерном движении частица будет двигаться в горизонтальном направлении с переменной скоростью; соответствующей скорости того слоя потока, в котором частица находится в данный момент.

Траектории падения частиц при равномерном движении потока

Таким образом, при равномерном распределении скорости потока по вертикали и при $v = \text{const}$ полное движение частицы будет также равномерным; и траектория её будет представлять прямую линию, наклонённую к горизонту под углом α , который будет определяться выражением¹.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_0}{v}.$$

В наших опытах v практически была равномерна по вертикали, и наблюдаемая осреднённая траектория частиц действительно была прямой линией. Фактически частицы (особенно мелкие) описывали около наклонной прямой зигзагообразную линию; как результат турбулентности потока.

Более крупные частицы слабее реагировали на турбулентность, и их траектории фактически были близки к прямым линиям.

При неравномерном распределении скорости по вертикали траектория частицы будет кривая линия. При этом, так как обычно скорость уменьшается ко дну; то траектория будет иметь вид кривой, выпнутой вверх, во всяком случае, в нижней своей части.

Не представит затруднений построить графически траекторию частицы для любой эмпоры скоростей по вертикали. Для этого эмпору скоростей следует разбить по высоте на ряд ступеней (рис. 140), не обязательно равных по высоте.

Таким образом, поток разобьётся на горизонтальные слои, в которых скорости будут считаться равномерными. Для каждого слоя можно установить угол наклона (α) траектории частиц, являющейся прямой линией.

¹ Здесь мы везде принимаем скорость падения частицы равной её гидравлической крупности, что будет отвечать средней линии падения частиц в турбулентной среде. Вид уравнений траекторий не изменится, если вместо v_0 подставим другую скорость равномерного падения частиц в потоке $v_{п.}$

Получим:

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{w_0}{v_1}, \quad \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{w_0}{v_2}, \quad \operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{w_0}{v_3} \text{ и т. д.}$$

Проводя в каждом слое прямые под соответствующими углами α , получим траекторию в виде ломаной линии (рис. 140).

В том случае, когда эпюра скоростей может быть выражена аналитически, траектория падающей частицы тоже может быть получена аналитическим путём.

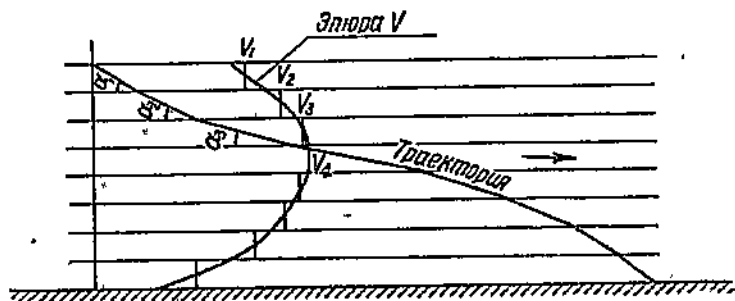


Рис. 140. Схема построения траектории падения частиц.

Примем распределение скорости течения в бассейне по вертикали по параболическому закону, установленному Лавалем и проверенному Раппом на ряде естественных потоков¹

Имеем:

$$v = \frac{v_0}{\sqrt[3]{H_0}} \sqrt[3]{H}, \quad (28)$$

где

$$h = 1 + 4,8 \sqrt[3]{\frac{H_0}{v_0}}, \quad (29)$$

v — скорость воды на некоторой глубине H над дном,

v_0 — поверхностная скорость течения,

H_0 — полная глубина потока.

Вершина параболы находится на дне потока в основании рассматриваемой вертикали (рис. 141). Обозначив

$$\frac{v_0}{\sqrt[3]{H_0}} = A,$$

постоянное для данного потока, перепишем уравнение (28) в виде:

$$v = \frac{dx}{dt} = A \sqrt[3]{H}. \quad (30)$$

¹ См. Рапп (Rosengeim). Wasserkraft u. Wasserwirtschaft, 1927, № 7—8.

Это будет поступательная скорость частицы, если считать, что она принимает скорость потока мгновенно.

Зная скорость падения частицы по вертикали в любой момент по уравнению (22а), а практически равной $w_0 = \text{const}$, можем получить абсолютную скорость частицы в потоке v_a в виде

$$v_a = \sqrt{w_0^2 + v^2}.$$

Для получения уравнения траектории продифференцируем по t уравнение (23б):

$$\frac{dy}{dt} = w_0. \quad (31)$$

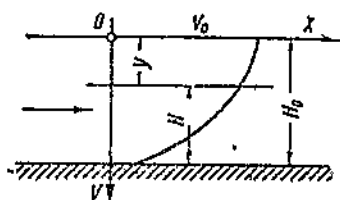


Рис. 141. Эпюра распределения скоростей по вертикали.

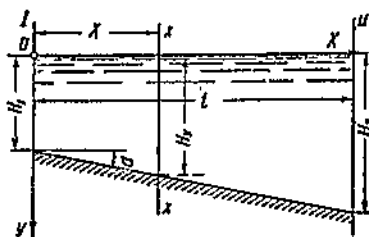


Рис. 142. Схема отстойника с продольным уклоном дна.

Исключая dt из уравнений (30) и (31), получим дифференциальное уравнение траектории падающей частицы:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{A}{w_0} \sqrt[n]{H}.$$

Здесь $H = H_0 - y$. Следовательно,

$$\frac{dx}{dy} = \frac{A}{w_0} \sqrt[n]{H_0 - y}. \quad (32)$$

Разделяя переменные и интегрируя, получаем:

$$x = -\frac{An}{(n+1)w_0} (H_0 - y)^{\frac{n+1}{n}} + C.$$

Для начального момента имеем $x=0$ и $y=0$. Следовательно,

$$C = \frac{An}{(n+1)w_0} H_0^{\frac{n+1}{n}},$$

и уравнение траектории частицы будет

$$x = \frac{An}{(n+1)w_0} \left[H_0^{\frac{n+1}{n}} - (H_0 - y)^{\frac{n+1}{n}} \right].$$

В A входит v_0 — поверхностная скорость; для расчётов же удобнее применять среднюю скорость. Поэтому установим выражение поверхностной скорости через среднюю v_{cp} .

Площадь эпюры скоростей F выражается в виде

$$F = \frac{n}{n+1} H_0 v_0,$$

отсюда.

$$v_{cp} = \frac{F}{H_0} = \frac{n}{n+1} v_0 \quad \text{и} \quad v_0 = \frac{n+1}{n} v_{cp}.$$

Тогда уравнение траектории окончательно будет иметь вид:

$$x = \frac{v_{cp}}{w_0 \sqrt[n]{H_0}} \left[H_0^{\frac{n+1}{n}} - (H_0 - y)^{\frac{n+1}{n}} \right]. \quad (33)$$

При ином распределении скорости по вертикали уравнение траектории частиц изменится: оно может быть получено аналогичным путём.

Частица, находящаяся в начале бассейна на поверхности потока, пройдёт до осаждения её на дно расстояние l , которое определится из уравнения траектории при $y = H_0$:

$$l = \frac{v_{cp}}{w_0 \sqrt[n]{H_0}} H_0^{\frac{n+1}{n}} = H_0 \frac{v_{cp}}{w_0}. \quad (34)$$

Траектории частиц при неравномерном движении потока

Полученное решение справедливо при постоянной глубине и ширине потока.

Если v_{cp} будет переменной по длине бассейна вследствие равномерного изменения ширины, его и глубины (общий случай), то дифференциальное уравнение (32) движения частицы преобразуется следующим образом.

Введём в это уравнение выражение A и заменим v_0 через v_{cp} , тогда получим для сечения на расстоянии x (рис. 142):

$$\frac{dx}{dy} = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{v_{cpx}}{w_0 \sqrt[n]{H_x}} \sqrt[n]{H_x - y}$$

при условии сохранения того же закона распределения скорости по вертикали и равномерного распределения по ширине.

Здесь v_{cp} и H_x относятся к сечению x — x . Значит $H_x = H_1 + x \operatorname{tg} \alpha$. Ширина бассейна в этом сечении будет b_x . Если ширина в начале b_1 и в конце b_2 , а угол между боковой стенкой и осью бассейна β , то

$$b_x = b_1 + 2x \operatorname{tg} \beta$$

и

$$v_{cp} = \frac{Q}{H_x b_x} = \frac{Q}{(H_1 + x \operatorname{tg} \alpha)(b_1 + 2x \operatorname{tg} \beta)}.$$

После подстановки H_x и v_{cp} в дифференциальное уравнение, оно примет вид

$$\frac{dx}{dy} = \frac{(n+1) Q}{n w_0} \cdot \frac{\sqrt[n]{H_1 + x \operatorname{tg} \alpha - y}}{(b_1 + 2x \operatorname{tg} \beta)(H_1 + x \operatorname{tg} \alpha)^n}. \quad (35)$$

Здесь n также будет переменным и зависящим от x и y . Построение траектории возможно только приближённое: отстойник придётся разбить по длине на несколько частей и в каждой части считать сечение постоянным — средним на данном участке. В этом случае траектория строится по уравнению (33). Для каждого участка необходимо составить своё особое уравнение траектории, так как n , $v_{\text{ср}}$ и H_0 будут для них различные. Чем на большее число участков разобьётся отстойник, тем точнее будет построение траектории падения частиц.

Но так как часто при вступлении в отстойник структура потока нарушается вследствие протекания под забралом и последующего расширения его, а иногда и вследствие наличия разбивательных решёток, то в таких случаях принимать прежний закон распределения скорости по вертикали нет достаточных оснований. Учитывая малую шероховатость стенок и небольшие вообще скорости в бассейнах, можно с достаточной точностью принять скорость равномерно распределённой по вертикали тем более, что распределение скоростей по вертикали не влияет на величину расстояния до точки падения частицы на дно, а отражается лишь на форме траектории падения.

Тогда в формуле Лаваля (28) следует положить $n = \infty$, и уравнение (35) преобразуется следующим образом:

$$\frac{dx}{dy} = \frac{Q}{w_0} \frac{1}{(H_1 + x \operatorname{tg} \alpha)(b_1 + 2x \operatorname{tg} \beta)} \quad (36)$$

Разделяем переменные

$$(H_1 + x \operatorname{tg} \alpha)(b_1 + 2x \operatorname{tg} \beta) dx = \frac{Q}{w_0} dy.$$

Интегрируя, получаем:

$$H_1 b_1 x + H_1 x^2 \operatorname{tg} \beta + \frac{b_1 \operatorname{tg}^2 \alpha}{2} x^2 + \frac{2}{3} x^3 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta = \frac{Q}{w_0} y + C$$

при $x=0$ и $y=0$, откуда находим $C=0$. Разделяя уравнение на $H_1 b_1$, заменяя $\frac{Q}{H_1 b_1}$ средней скоростью входа воды в отстойник $v_{\text{вх}}$ и преобразовывая, получаем уравнение траектории частицы, находящейся в начале отстойника на высоте H_1 над начальным дном его.

$$\frac{2 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}{3 H_1 b_1} x^3 + \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{b_1} + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2 H_1} \right) x^2 + x = \frac{v_{\text{вх}}}{w_0} y. \quad (37)$$

При $\beta=0$, т. е. при отстойнике постоянной ширины, получаем

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha}{2 H_1} x^2 + x = \frac{v_{\text{вх}}}{w_0} y. \quad (38)$$

А при постоянной и глубине ($\alpha=0$) получаем обычную формулу

$$x = y \frac{v_{\text{вх}}}{w_0}.$$

Так как обычно углы α и β малы, то первым членом в уравнении (37) иногда представляется возможность пренебречь, и тогда вообще уравнение траектории частицы упростится и примет вид

$$\left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{b_1} + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2H_1}\right) x^2 + x = \frac{v_{\text{вх}}}{w_0} y. \quad (39)$$

До падения на дно частица пройдет путь x . Этому x соответствует глубина

$$y = H_1 + x \operatorname{tg} \alpha.$$

Подставляя это значение в уравнение (37), получим выражение для определения пройденной длины при падении на дно

$$\frac{2 \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{3H_1 b_1} x^3 + \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{b_1} + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2H_1}\right) x^2 + x = \frac{v_{\text{вх}}}{w_0} (H_1 + x \operatorname{tg} \alpha)$$

или

$$\frac{2 \operatorname{tg} \alpha \operatorname{tg} \beta}{3H_1 b_1} x^3 + \left(\frac{\operatorname{tg} \beta}{b_1} + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2H_1}\right) x^2 + \left(1 - \frac{v_{\text{вх}}}{w_0} \operatorname{tg} \alpha\right) x = \frac{v_{\text{вх}}}{w_0} H_1. \quad (40)$$

Рассмотрим пример:

Пусть $Q = 8 \text{ м}^3/\text{сек}$. Ширина входа в камеру $b_1 = 5,0 \text{ м}$, глубина в начале камеры $H_1 = 3 \text{ м}$. Угол $\beta \doteq 5^\circ$ и $\alpha = 6^\circ$.

Гидравлическая крупность частиц $w_0 = 5 \text{ см/сек}$. Считаем, что частица падает в потоке с этой же скоростью.

Тогда

$$\frac{v_{\text{вх}}}{w_0} = \frac{53,3}{5} = 10,66$$

$$\frac{2 \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \beta}{3H_1 b_1} = \frac{2 \cdot 0,105 \cdot 0,0875}{3 \cdot 3,0 \cdot 5,0} = 0,000408 \approx 0,00041$$

$$\frac{\operatorname{tg} \beta}{b_1} + \frac{\operatorname{tg} \alpha}{2H_1} = \frac{0,0875}{5,0} + \frac{0,105}{2 \cdot 3,0} = 0,035.$$

Уравнение траектории будет:

$$0,00041x^3 + 0,035x^2 + x = 10,66 y.$$

Для построения траектории удобнее задаваться x и определять y . Для сравнения нами произведены подсчеты по двум уравнениям (37) и (39). Подсчеты сведены в таблицу 24.

Предварительно, для установления пределов x , определим расстояние x_{max} до точки падения частицы на дно.

Вычисляем x по уравнению (40).

Определим предварительно коэффициент при x

$$1 - \frac{v_{вх}}{w_0} \operatorname{tg} \alpha = 1 - 10,66 \cdot 0,105 = -0,12.$$

Тогда уравнение для $x_{\max}$ будет:

$$0,00041x^3 + 0,035x^2 - 0,12x = 10,66 \cdot 3,0 = 31,98.$$

Отсюда

$$x_{\max} \approx 27,6 \text{ м.}$$

Задаёмся x в пределах от 0 до 27,6 м.

Таблица 24

x	x^2	x^3	$0,00041 x^3$	$0,035 x^2$	$10,66 y$	$y_{\text{м}}$	По приближённой формуле- $y_{\text{м}}$
5	25	125	0,05	0,88	5,93	0,56	0,55
10	100	1 000	0,41	3,5	13,91	1,30	1,27
15	225	3 380	1,39	7,9	24,29	2,28	2,15
20	400	8 000	3,28	14,0	37,28	3,5	3,19
25	625	15 600	6,4	21,9	53,3	5,0	4,4
27,6	760	21 000	8,62	26,6	62,82	5,9	5,07
33	1 090	—	—	39,2	72,2	—	6,77

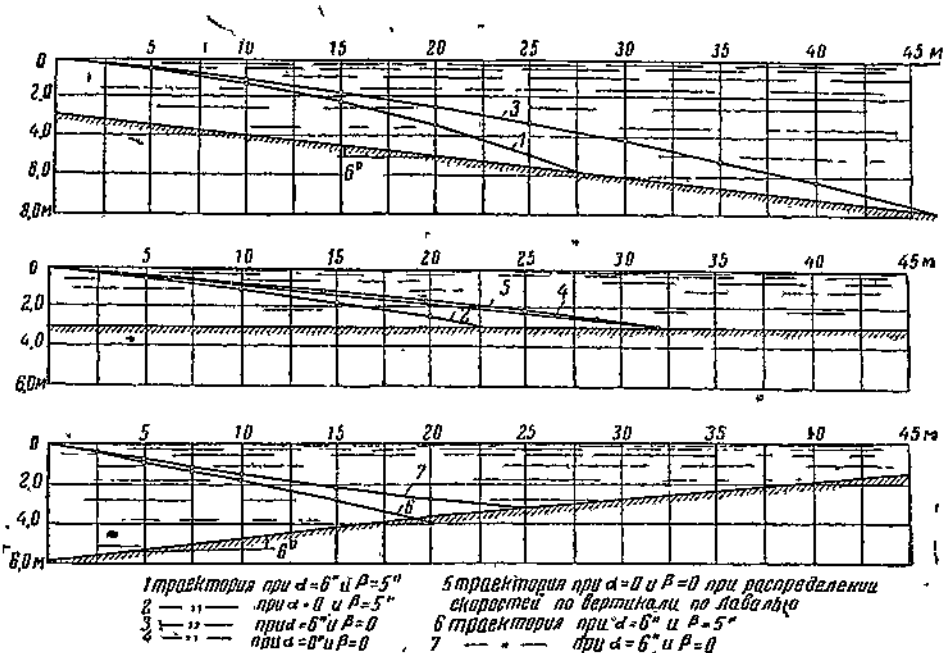


Рис. 143. Траектории падения частиц при равных формах продольных отстойных камер.

Таким же путём произведены подсчёты траекторий для различных случаев. Результаты вычислений нанесены на рисунке 143, а конечные значения длины пути частицы по горизонтали до падения её на дно L сведены в таблицу 25.

Таблица 25

ХАРАКТЕР ОТЛОЖЕНИЙ НАПОСОВ НА ДНЕ

Угол α (в градусах)	Значения L (м) при β	
	0°	5°
0	32,0	23,0
+6	46,4	27,6
-6	23,6*	49,2

Если обратиться к опытам по выпадению частиц в потоке, то устанавливается известный разброс их на дне по длине отстойника; даже при совершенно одинаковых размерах, форме и удельном весе частиц.

* При этом глубина воды в начале отстойника была принята 5,9 м, а не 7,9 м, как правильнее было бы принять для экономического сравнения вариантов. Это дало бы ещё меньшую длину L .

В связи с этим нами были произведены специальные исследования по установлению закона распределения частиц при падении их на дно в потоке.

Опыты с точными формами частиц

С целью устранения влияния форм частиц сначала опыты были проведены с точными формами их — шариками и круглыми пластинками. При этом для проверки влияния размеров частиц и удельного веса их на характер кривой распределения были взяты шарики и пластинки разного удельного веса, меняющегося от 1,03 до 2,89, и разных диаметров. Диаметры шариков изменялись в пределах от 5 до 16 мм, а пластинок — от 3 до 10 мм. Скорость потока не превышала 22 см/сек.

Глубина воды в лотке изменялась в пределах 0,40—0,50 м, учитывая, что изменение её, как это нами указано было выше, не имеет существенного значения при изучении характера выпадения частиц, когда они подвергаются воздействию некоторой осреднённой по глубине и по длине потока вертикальной составляющей скорости.

Для гидравлической характеристики правильных форм частиц были проведены опыты как в спокойной воде, так и в потоке. Это позволило оценить степень влияния турбулентности потока на величину сопротивления его при выпадении частиц по сравнению со спокойной водой.

В результате опытов, таким образом, получены:

- 1) гидравлическая крупность частиц w'_i ,
- 2) скорость падения частиц в потоке $w_{п}$,
- 3) коэффициенты сопротивления выпадению частиц в спокойной воде (C_0) и в потоке ($C_{п}$);
- 4) кривые распределения частоты попадания частиц на дно потока и величины зоны рассеивания вдоль потока при пуске частиц из одной точки — на поверхности воды.

Гидравлическая крупность опытных шариков и пластинок получена при температуре воды в среднем в 13°C . Основные данные по шарикам и пластинкам и полученные значения w_0 и C_0 сведены в таблицу 26.

Для сравнения полученных результатов по шарикам были вычислены гидравлические крупности w_0 и коэффициенты сопротивления C_0 по формуле Великанова—Зегжда при удельном весе шариков 2,65. Формула Великанова—Зегжда:

$$\frac{gr(\rho_1 - \rho)}{\rho w_0^2} = 0,105 + 4,5 \frac{\nu}{w_0 r} + \frac{5,31}{\pi} \arctg \sqrt{\frac{\nu}{w_0 r}}, \quad (41)$$

где r — радиус шарика,
 ρ_1 — плотность шарика,
 ρ — плотность воды,
 ν — кинематическая вязкость.

Вычисление w_0 производилось с помощью номограммы (рис. 144): задавались диаметром шара и определяли значение s :

$$s = \left(\frac{\rho_1}{\rho} - 1 \right) g \frac{r^3}{\nu^2},$$

по которому и находили по номограмме выражение T :

$$T = \frac{\nu(\rho_1 - \rho)}{\rho w_0^2},$$

а по нему уже вычисляли w_0 :

$$w_0 = \sqrt[3]{\frac{\nu(\rho_1 - \rho)}{\rho \cdot T}}.$$

Полученные значения w_0 нанесены на рисунке 145. Как видим, результаты опытной проверки w_0 для шариков получились достаточно удовлетворительные для наших целей. Большое отклонение от кривой дают шарик с удельным весом 2,25, поскольку кривая построена для удельного веса 2,65.

Сопоставление результатов по определению коэффициента сопротивления шариков при выпадении в спокойной воде $C_{0\text{ш}}$ приведено на рисунке 146, где нанесены кривые $C_{0\text{ш}}$ в функции от числа Рейнольдса (R_e) для частиц

$$R_e = \frac{w_0 d}{\nu}.$$

Здесь же нанесены аналогичные кривые по Зоаму¹. Опытные точки ложатся достаточно удовлетворительно возле кривых.

Для сопоставления полученных нами результатов по круглым пластинкам построена на том же рисунке 146 графическая зависимость $C_{0\text{пл}}$ в функции R_e по данным опытов Шиллера—Шмиделя, Симонса—Девей, Видельсбергера и др. Разброс опытных точек для

¹ См. Красноперов, Экспериментальная гидродинамика.

Коэффициенты сопротивления в оконной воде C_0 при температуре воды 13° С

№ шарнирно-пластинчатого	Материал	Форма частиц	Удельный вес γ (г/см³)	Дополнительный диаметр d (см)	d^3	d^2	Объем $V = \frac{\pi}{6} d^3$ (см³)	Вес в воздухе $P_0 = \gamma V$ (г)	Вес в воде $P_n = \gamma(V - 1)$ (г)	C_0 в оконной воде (см/сек)			$\frac{P_n}{d^3} = 2.498 \frac{P_n}{d^3}$
										w_0	w_0^3	w_0^2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13
1	вар	шар	4,04	0,575	0,3306	0,1901	0,0995	0,103	0,0035	7,1	50,4	10,3	9,525
2	алюминий	»	4,03	0,575	0,3306	0,1901	0,0995	0,103	0,0035	7,1	50,4	10,3	9,525
3	алюминий	»	2,65	0,322	0,1037	0,0334	0,0175	2,456	6,064	40,3	163,09	136,1	0,58
4	стекло	»	2,87	0,235	0,065	0,0165	0,0086	0,0464	0,0289	36,9	1361,61	384,64	0,544
5	»	»	2,76	0,393	0,1544	0,0607	0,0343	0,0864	0,0554	34,5	992,25	345,25	0,62
6	»	»	2,89	0,502	0,252	0,1265	0,0662	0,1913	0,0554	43,9	1927,21	439,21	0,465
8	сургуч	»	4,55	0,364	0,1325	0,0482	0,0252	0,0895	0,0143	52,1	2714,41	521,41	0,456
9	»	»	1,50	0,506	0,3672	0,2225	0,1465	0,1748	0,0588	21,7	470,89	217,7	0,673
40	»	»	1,57	0,862	0,743	0,6405	0,3854	0,5266	0,1912	30,7	942,49	307,7	0,423
41	»	»	2,39	0,356	0,1267	0,0451	0,0236	0,0854	0,0328	36,4	1324,96	364,4	0,484
42	»	»	2,32	0,596	0,3552	0,21470	0,1408	0,257	0,146	35,1	1232,01	351,1	0,525
43	сургуч	»	2,29	0,858	0,7382	0,6317	0,3808	0,7575	0,4267	48,4	2342,56	484,4	0,439
7	алюминий	пластинка	2,65	0,505	0,255	—	—	0,022	0,0187	56,1	3180,96	561,1	0,455
17	»	на	2,65	0,330	0,1521	—	—	0,009	0,0056	40,0	1600	40,0	1,34
18	»	»	2,65	0,63	0,3969	—	—	0,009	0,0056	7,9	62,41	7,9	4,47
19	»	»	2,65	0,92	0,8464	—	—	0,083	0,0208	8,7	75,69	8,7	4,71
44	збонит	»	4,6	0,38	0,1444	—	—	0,082	0,0311	9,2	84,64	9,2	1,80
45	»	»	4,6	0,65	0,4225	—	—	0,008	0,003	6,6	43,56	6,6	1,19
46	»	»	4,6	0,65	0,4225	—	—	0,028	0,0105	6,8	46,24	6,8	1,34
20	железо	»	7,825	0,93	0,8649	—	—	0,068	0,0255	6,4	40,96	6,4	1,77
21	»	»	7,825	0,63	0,3969	—	—	0,03	0,025	49,2	368,64	49,2	1,46
22	»	»	7,825	0,93	0,8649	—	—	0,102	0,0887	20,8	432,64	20,8	1,295
23	свинец	»	11,36	0,39	0,1521	—	—	0,14	0,115	20,7	428,49	20,7	0,775
24	»	»	11,36	0,63	0,3969	—	—	0,048	0,0437	21,4	457,96	21,4	1,57
25	»	»	11,36	0,93	0,8649	—	—	0,103	0,0938	20,3	412,09	20,3	1,44
26	»	»	11,36	2,24	5,0176	—	—	0,333	0,3025	24,1	580,81	24,1	1,505
								3,488	3,48	49,5	2450,25	49,5	0,646

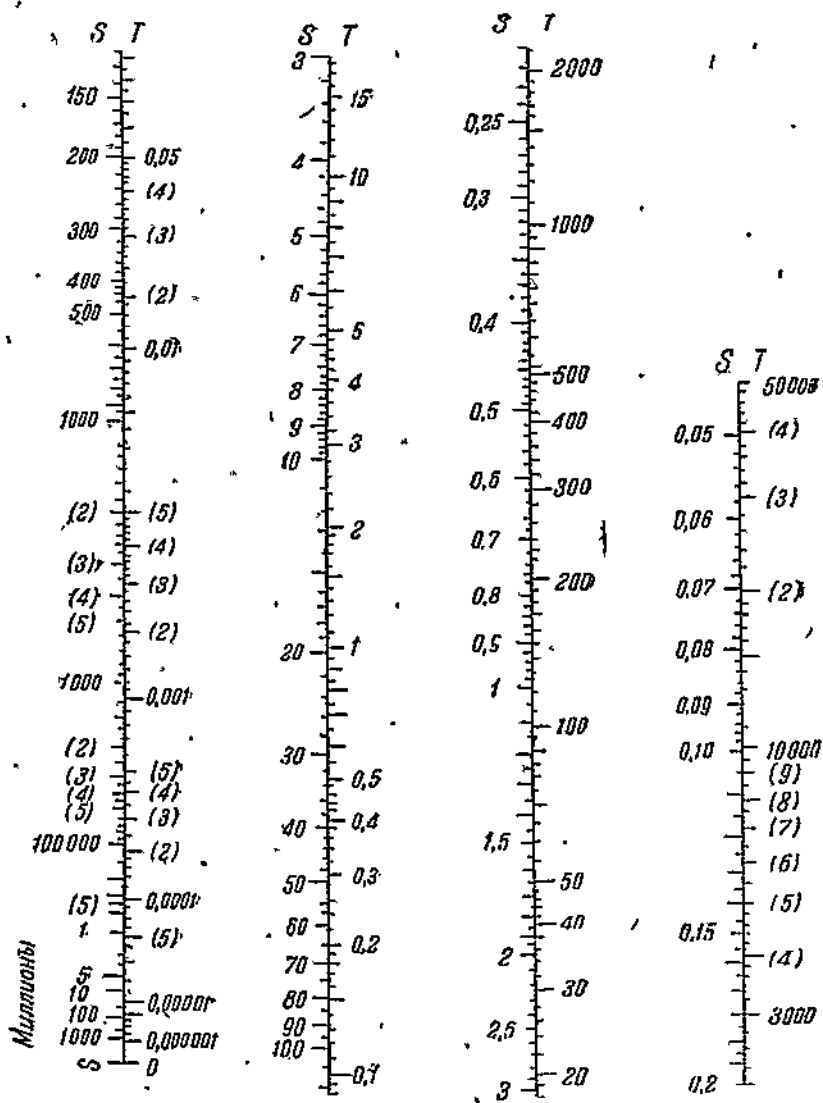


Рис. 144. Номограмма скорости падения шариков в жидкости по формуле Белкханова-Зегжиды.

пластинок получился хотя и значительный, но всё же они вполне симметрично облегают опытную кривую по другим данным. Следует учесть, что опыты с пластинками, проведённые нами, оказались в условиях переходной зоны, где обычно и наблюдаются значительные расхождения получаемых результатов по отдельным точкам.

Следует отметить также, что наши опыты с шариками и пластинками не имели прямой целью установление зависимости $C = f(R_e)$, для этого они слишком малочисленны.

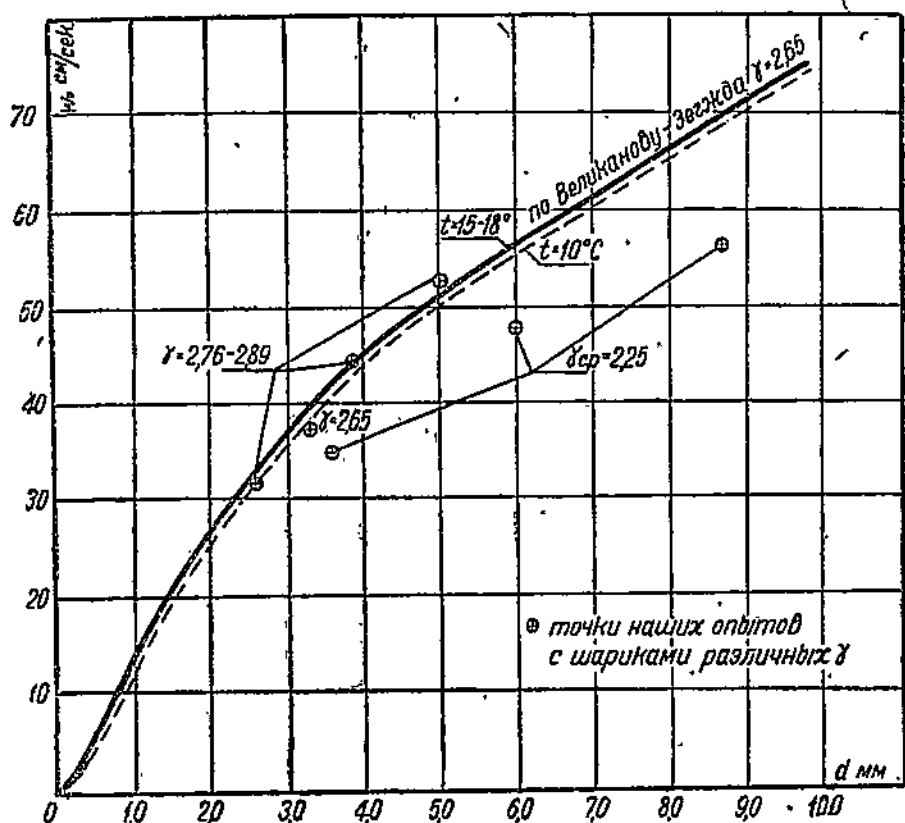


Рис. 145. Кривая зависимости гидравлической крупности шара от его диаметра по Великанову-Зегждо.

Скорость падения в потоке определялась по времени прохождения t частицей расстояния от поверхности воды до дна потока (H):

$$w_{\Pi} = \frac{H}{t}.$$

Время же t могло быть определено или непосредственными измерениями его или же по средней скорости потока v и длине L горизонтального пути, пройденного частицей от места пуска до места падения её на дно:

$$t = \frac{L}{v}.$$

Таким образом получаем:

$$w_{\Pi} = \frac{H}{L} v.$$

Принятие горизонтальной скорости движения частицы, равной скорости потока, вполне допустимо, так как небольшие частицы при пуске в поток почти мгновенно приобретают скорость потока, как это подтверждается настоящими опытами.

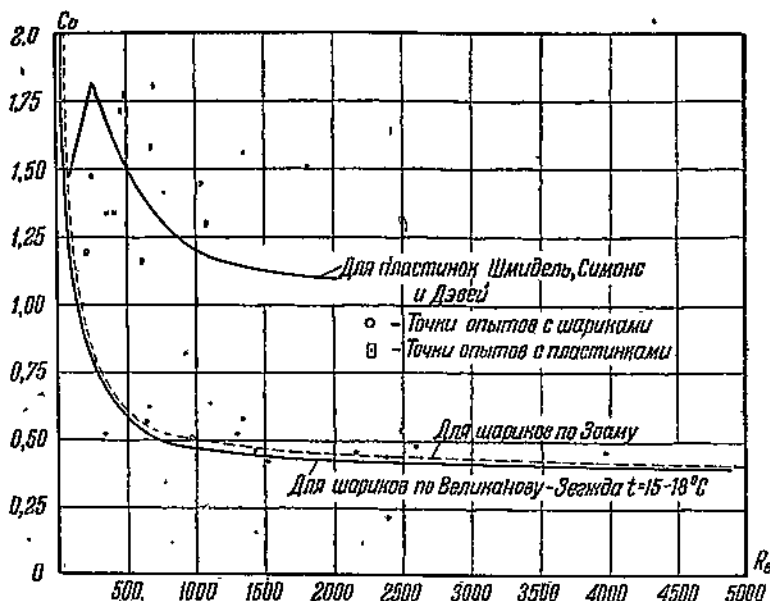


Рис. 146. Зависимости коэффициента сопротивления от числа Рейнольдса для пластинок и шариков при падении их в воде.

Нами были вычислены средние скорости движения частиц вдоль потока по замеренным L и t . Расходимость между $v_{\text{ср}} = \frac{L}{t}$ и $v_{\text{ср}} = \frac{Q}{F}$ в среднем составляла 2,06%¹.

Величина горизонтального пути L , проходимого одной и той же частицей в потоке при постоянных H и v , не является постоянной. Это объясняется преимущественно турбулентным перемешиванием жидкости. Иногда частица попадает под более сильное воздействие нисходящих токов, и тогда она выпадает ближе (L_{min}), иногда она попадает под более сильное воздействие восходящих токов, и тогда она уносится потоком дальше (L_{max}). Средняя же скорость падения частицы в потоке $w_{\Pi, \text{ср}}$, учитывая одинаковую интенсивность восходящих и нисходящих течений при перемешивании

¹ См. таблицу 26, т. II, Отчет по теме 5 за 1938 г. Архив ВНИИГиМа.

ванции, должна быть равна гидравлической крупности ее w_0 . Для подтверждения этого нами были вычислены значения $w_{п.ср}$ и нанесены на график (рис. 147). Здесь же нанесены и значения w_0 . Как видим, высказанное суждение находит здесь известное подтверждение.

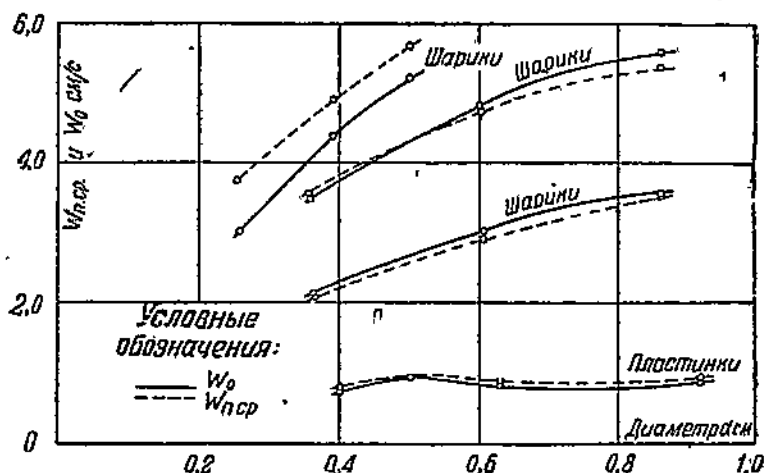


Рис. 147. Опытные зависимости w_0 и $w_{п.ср}$ от диаметра частиц для шариков и пластинок.

В связи с тем что при выпадении частицы в потоке получают два крайних значения L — L_{min} и L_{max} , скорости падения её $w_{п.ср}$ будут иметь два предела: $w_{п.ср, max}$ (при L_{min}) и $w_{п.ср, min}$ (при L_{max}).

Коэффициенты сопротивления $C_{п.ср}$ тоже будут иметь пределы $C_{п.ср, min}$ и $C_{п.ср, max}$. Для нас будет представлять интерес $C_{п.ср, max}$, как полученное при наибольшем выносе частицы L_{max} . Опытный материал и подсчёты сведены в таблицу 27¹, где приводятся также значения чисел Рейнольдса для частиц при $w_0(R_0)$ и при $w_{п.ср, min}(R'_{ср})$ ². При нанесении результатов на график в виде зависимости

$$\frac{w_{п.ср, min}}{w_0} = f(R'_{ср})$$

убеждаемся в возможности принятия общей для всех частиц прямой линейной связи. Математическая обработка приводит к следующему уравнению:

$$\frac{w_{п.ср, min}}{w_0} = 0,93 - 0,58 \cdot 10^{-4} R'_{ср}.$$

¹ Более подробная таблица даётся в отчёте. Архив ВНИИГНМ.

² Здесь имеется в виду всегда $w_{п.ср, min}$ среднее из двух — непосредственно измеренного по времени падения и полученного по дальности отлёта частицы.

Таблица 27 (продолжение)

№ шариков и испытаний	Форма	Коэффициент сопротивления						Число Рейнольдса				$\frac{w}{w_0}$ min $\frac{w}{w_0}$ max		$\frac{w}{w_0}$ max по		Число Рейнольдса	
		Сп. ср.		Сп. max		$\frac{C_p \max}{C_0}$		при $w_0 R_e$	при w_0 min средн. из двух опытов	при w_0 min по Лавуэ	при w_0 min, вычисл. по Лавуэ	при w_0 min средн. из опытов	при w_0 max вычисл. по Лавуэ	при w_0 max средн. из опытов	при w_0 max по Лавуэ	Число Рейнольдса	при w_0 max по Лавуэ
		при среднем $\frac{C_0}{C_p}$	при среднем $\frac{C_0}{C_p}$	при среднем $\frac{C_0}{C_p}$	при w_0 min по Лавуэ	опытное	Сп. max по Лавуэ										
1 шар	0,525	0,595	4,433	0,745	0,78	1,42	1,48	337	284	279	0,795	0,795	0,796	1,06	4,41	357	375
2 »	0,58	0,554	0,555	0,662	0,887	1,16	1,53	1344	1280	1105	0,795	0,795	0,57	1,20	1,43	1625	1940
3 »	0,511	0,346	0,378	0,535	0,576	1,05	1,43	978	960	930	0,635	0,635	0,58	1,53	1,43	1600	1600
4 »	0,62	0,436	0,702	0,78	0,855	1,26	1,38	663	593	568	0,533	0,533	0,495	1,67	1,73	1110	1440
5 »	0,465	0,372	0,80	0,662	0,752	1,34	1,62	4430	4230	4120	0,615	0,615	0,550	1,40	1,43	2010	2040
6 »	0,456	0,388	0,833	0,71	0,788	1,56	1,69	2460	1780	1640	0,622	0,622	0,497	1,31	1,52	2820	3300
8 »	0,573	0,59	1,03	0,68	0,870	1,48	1,52	650	595	560	0,78	0,78	0,723	1,17	1,48	765	774
9 »	0,423	0,453	1,07	0,59	0,628	1,39	1,68	1520	4300	4255	0,78	0,662	0,662	1,09	1,23	1680	1900
10 »	0,484	0,487	1,00	0,735	0,857	1,51	1,77	2600	2400	1950	0,633	0,633	0,565	1,47	1,43	3040	3460
11 »	0,525	0,50	0,95	0,672	0,72	1,28	1,37	1300	910	880	0,76	0,76	0,72	1,46	1,48	1495	1465
12 »	0,439	0,45	1,02	0,552	0,770	1,48	1,75	2380	4350	4790	0,65	0,65	0,503	1,26	1,49	3010	3560
13 »	0,455	0,533	1,17	0,825	0,910	1,81	1,99	3980	2960	2830	0,583	0,583	0,432	1,27	1,64	5090	6560
Среднее		0,512															
7 пласт.	1,34	1,28	0,96	1,64	1,88	—	—	—	377	351	0,705	0,705	0,626	1,28	1,35		
47 »	1,47	1,28	0,87	1,62	1,86	—	—	—	262	226	0,773	0,773	0,64	1,23	1,39		
48 »	1,74	1,47	0,86	1,92	2,07	—	—	—	426	414	0,775	0,775	0,672	1,21	1,35		
49 »	1,80	1,58	0,878	2,22	2,27	—	—	—	628	620	0,722	0,722	0,61	1,25	1,46		
Среднее		0,805									0,70	0,70	0,600				

Примечание. Там, где указывается «по Гауссу», значит $x_{\max}$ или $x_{\min}$ принималось по правилу 3а, г. е. $x_{\max} = x_{\text{ср}} + 3\sigma$ и $x_{\min} = x_{\text{ср}} - 3\sigma$.

Подставляя значение $R_{\text{ср}} = \frac{\omega_{\text{п. min}} \cdot d}{\nu}$ и решая относительно $\omega_{\text{п. min}}$, получаем:

$$\omega_{\text{п. min}} = \frac{0,98\omega_0}{1 + 0,58 \cdot 10^{-4} R_0}, \quad (42)$$

где через R_0 заменено выражение $\frac{\omega_0 d}{\nu}$ для спокойной воды.

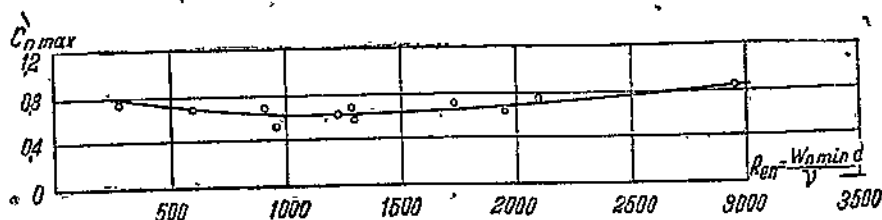


Рис. 148. Зависимость наибольшего значения коэффициента сопротивления для шариков от числа Рейнольдса при выпадении их в потоке.

Коэффициент $C_{\text{п. max}}$ для шариков даёт закономерное изменение в зависимости от $R_{\text{ср}}$, полученного для скорости падения $\omega_{\text{п. min}}$ (рис. 148). Но в виду того что опыты малочисленны и охватывают малый диапазон, давать эмпирическую зависимость не представляется целесообразным.

Характер полученной зависимости $C_{\text{п. max}} = f(R_{\text{ср}})$ вполне соответствует кривой в начале переходной зоны, где C достигает минимума (при R_e в пределах от 1000 до 10000 по Зоаму) и дальше несколько повышается перед резким снижением в переходной зоне¹.

Распределение частиц на дне при выпадении в потоке было получено путём многократных бросаний (от 40 до 110) одной и той же частицы (шарика или пластинки) в поток в определённом сечении при разных скоростях и глубинах его.

Отмечалось место падения частицы на дно, а также время от момента пуска частицы до момента падения её на дно. Затем вся зона рассеивания ($L_{\text{max}} - L_{\text{min}}$) делилась на интервалы по 1—2—3 см и подсчитывалось количество попаданий частицы в отдельные интервалы. На основании результатов таких подсчётов были построены кривые распределения (рис. 149); по оси абсцисс откладывались расстояния от места пуска до середины интервалов, по оси ординат — число попаданий частиц в данный интервал, отнесённое к середине интервала. Разные величины интервалов брались потому, что при относительно малом числе бросаний слишком малые интервалы могли привести к разрыву графиков, так как в ряде интервалов совсем не оказывалось бы попаданий частиц.

¹ См. кривую зависимости $C = f(R_e)$, построенную Зоамом. К р а с н о в, Экспериментальная гидродинамика.

В наших опытах в общем интервал в 1 см в большинстве случаев давал удовлетворительные результаты.

Характер полученных графиков позволяет принять закон нормального распределения частот.

Если обратиться к некоторым теоретическим соображениям, то и они приводят к тем же результатам. Действительно, принимая

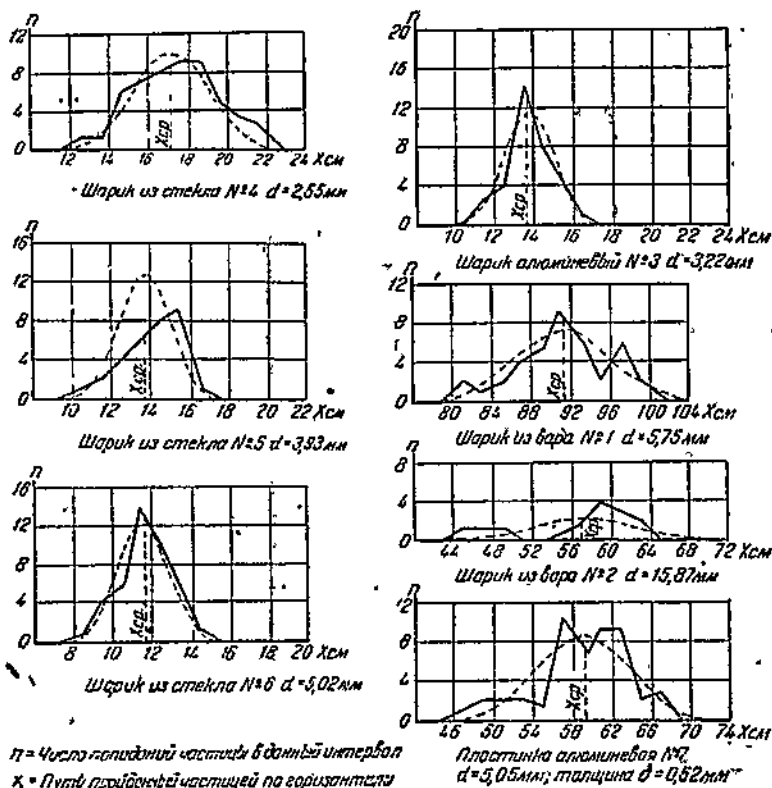


Рис. 149. Графики распределения на дне шариков и пластинок и скорости

закон нормального распределения вертикальной составляющей скорости потока, обоснованный опытами Савельева, можем утверждать, что сколько раз осреднённая по длине потока вертикальная скорость будет достигать некоторой величины u_x , столько же раз частица, находящаяся под её воздействием, должна упасть на соответствующее расстояние x , определяемое выражением

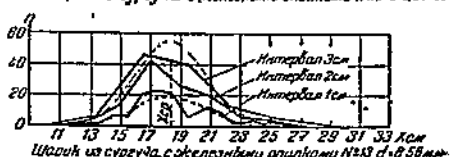
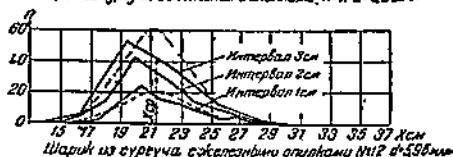
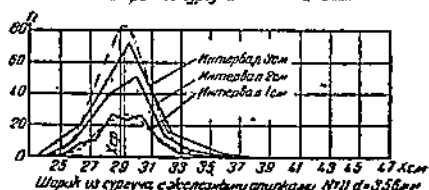
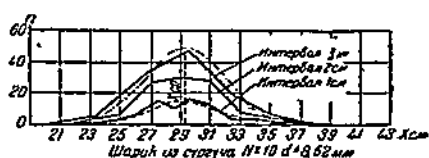
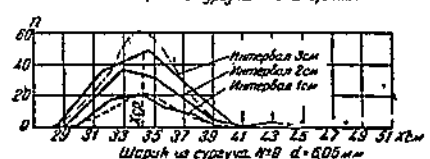
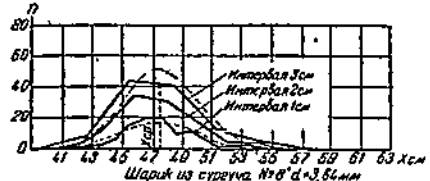
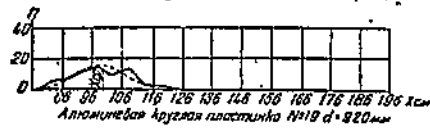
$$x = H \frac{v}{w_0 - u_x}$$

Следовательно, и на дне частицы, казалось бы, должны распределяться по нормальному закону, поскольку x есть функция только u_x при прочих равных условиях. Но это было бы верно, если бы u_x не зависело от x . Принимая во внимание, что u_x изменяется

вместе с x , можно ожидать некоторой асимметрии кривой распределения.

Попробуем установить величину ожидаемой асимметрии кривой распределения.

По Савельеву, квадратичное отклонение с частиц от осевой линии (вверх или вниз) при изучении им вертикальной составляю-



Π — кривые попадания частиц в данный интервал
 X — путь пройденный частицей по горизонтали

при их выпадении в потоне при глубине $H=50$ м
 $v=18,90$ см/сек.

щей скорости имело такую зависимость от расстояния s (формула 2):

$$\sigma^2 = (ks)^{2/3} \text{ или } \sigma = \sqrt[3]{k s^2/4}.$$

Отношение $\frac{\sigma}{s}$ определяет собой отношение $\frac{u_s}{v}$, т. е. $\frac{\sigma}{s} = \frac{u_s}{v}$,

где u_s , осреднённая по длине s , — наиболее вероятная скорость.

Подставляя сюда значение σ , получим:

$$\frac{u_s}{v} = \frac{\sqrt[3]{k}}{s^{1/3}}.$$

Таким образом, u_s будет зависеть от величины зоны рассеивания частиц на дне: чем зона рассеивания меньше, тем меньше будет разница в скоростях u_s для крайних положений частиц на дне.

В связи с этим более существенному искажению кривая распределения подвергается только в хвостовых своих частях, где количество попаданий частиц незначительно. При этом искажение отдельных участков кривой распределения будет идти в противоположных направлениях: с увеличением s (против расстояния до вершины кривой) u будет уменьшаться, способствуя вытягиванию кривой распределения вниз по течению, с уменьшением s скорость u будет увеличиваться, способствуя вытягиванию кривой распределения вверх по течению, поскольку в этом случае u будет отрицательной, т. е. направленной вниз. Это обстоятельство способствует сохранению симметричности кривой распределения. Искажение симметричности кривой будет лишь за счёт разности ламинации u .

Посмотрим, что за величина этого искажения может быть для конкретного случая.

Пусть, например, имеем расстояние до середины кривой распределения $s = 50$ м. Длину зоны рассеивания l примем в 20 м, что будет соответствовать предельному разбрасыванию частиц крупностью в 0,25 мм ($w_0 = 3$ см/сек.) при глубине воды в 5 м и скорости течения $v = 30$ см/сек.

Следовательно, расстояния до крайних положений частиц будут:

$$s_{\min} = 50 - 10 = 40 \text{ м при } -u' = -\frac{\sqrt{k}}{s^{1/4}} \cdot v;$$

$$s_{\max} = 50 + 10 = 60 \text{ м при } +u'' = \frac{\sqrt{k}}{s^{1/4}} \cdot v.$$

Частицы, падающие на расстоянии $s_{\min}$, будут находиться под воздействием скорости $-u'$, направленной вниз и равной

$$-u' = -\frac{\sqrt{k}}{s_{\min}^{1/4}} \cdot v.$$

Частицы же, падающие на расстоянии $s_{\max}$, будут находиться под воздействием скорости $+u''$, направленной вверх и равной

$$u'' = \frac{\sqrt{k}}{s_{\max}^{1/4}}.$$

Наиболее же вероятная скорость при расстоянии s_0 , равном

$$s_0 = \frac{s_{\min} + s_{\max}}{2} = 50 \text{ м,}$$

будет

$$u_0 = \frac{\sqrt{k}}{s_0^{1/4}} \cdot v.$$

Искажение кривой распределения будет определяться отношениями абсолютных значений скоростей

$$\frac{u'}{u_0} \text{ и } \frac{u''}{u_0}.$$

При указанных расстояниях $s_{\min}$, $s_{\max}$ и s_0 эти отношения будут следующими:

$$\frac{u'}{u_0} = \sqrt[4]{\frac{s_0}{s_{\min}}} = \sqrt[4]{\frac{50}{40}} = 1,06;$$

$$\frac{u''}{u} = \sqrt[4]{\frac{s_0}{s_{\max}}} = \sqrt[4]{\frac{50}{60}} = 0,957.$$

Значит скорость u' увеличилась на 6%, а u'' уменьшилось на 4,3%, по сравнению с u_0 .

Следовательно, асимметрию кривой будет определять разность этих процентов $(6-4,3)=1,7\%$ — это для крайних точек кривой при весьма большой зоне рассеивания.

Для частиц, падающих ближе к вершине кривой распределения, эта расходимость будет ещё менее существенной. Эти соображения и позволили нам окончательно положить в основу дальнейшего развития теории закон нормального распределения частот при выпадении на дно частиц точных форм.

Закон нормального распределения выражается кривой Гаусса

$$W = \frac{h}{\sqrt{\pi}} e^{-h^2(x-a)^2}, \quad (43)$$

где W — вероятность попадания частицы в данный интервал, определяемый расстоянием x от места пуска;

a — среднее арифметическое значение величины x ;

h — мера точности, определяемая через квадратичное отклонение σ формулой:

$$h = \frac{1}{\sigma \sqrt{2}}.$$

Чтобы перейти от вероятности W к количеству попаданий, необходимо значение вероятности умножить на полное количество бросаний данной частицы, так как вероятность есть отношение числа попаданий в данный интервал к общему числу бросаний частицы.

Величина σ — среднее квадратичное отклонение варианты от a — может быть установлена на основании опытного материала по формуле:

$$\sigma^2 = \frac{\sum y(x-a)^2}{\sum y}, \quad (44)$$

здесь y — число попаданий в данный интервал. Таким образом, представляется возможность вычислить параметры h и a по опыт-

ным данным и получить уравнение кривой для каждого конкретного случая.

Такая обработка опытного материала и была произведена. По полученным уравнениям были нанесены теоретические кривые распределения на опытные графики (рис. 149). Как видим, кривые Гаусса, как и следовало ожидать, достаточно точно удовлетворяют опытным графикам.

Мода (вершина) кривой распределения, очевидно, будет определяться по гидравлической крупности частиц w_0 :

$$L_{cp} = H \frac{v}{w_0},$$

где L_{cp} — расстояние от места пуска частицы до вершины кривой распределения, оно равно a .

Для установления максимальной величины отлёта частиц L_{max} применимо правило о 3σ , по которому при нормальном распределении 99,7% всех значений варианты (числа попаданий) отклоняются от её среднего значения в ту или другую сторону не более чем на утроенное среднее квадратичное отклонение (3σ). Таким образом, за пределами $L_{cp} \pm 3\sigma$ попадание частиц весьма маловероятно. На основании этого и принимаем пределы зоны рассеивания частиц равными

$$L_{min} = L_{cp} - 3\sigma$$

$$L_{max} = L_{cp} + 3\sigma.$$

Длина зоны рассеивания l будет:

$$l = L_{max} - L_{min} = 6\sigma.$$

Использование закона выпадения частиц позволяет отказаться от использования коэффициента β , характеризующего вертикальную составляющую скорости потока ($u = \beta v$) в формуле длины отстойника:

$$L_{max} = H \frac{v}{w_0 - \beta v},$$

поскольку при применении статистического метода коэффициент β теряет прежний смысл. Но значение β (в прежнем понимании) может быть определено через σ , если приравнять два значения L_{max} :

$$L_{\text{ср}} + 3\sigma = H \frac{v}{w_0 - \beta v}$$

$$(L_{\text{ср}} + 3\sigma) w_0 - (L_{\text{ср}} + 3\sigma) \beta v = H v.$$

Отсюда

$$\beta = \frac{(L_{\text{ср}} + 3\sigma) w_0 - H v}{(L_{\text{ср}} + 3\sigma) v}. \quad (45)$$

Величина σ для опытных частиц (шариков и пластинок) будет зависеть от H , v и w_0 , поскольку оно выражается в виде

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum y (x - a)^2}{\sum y}},$$

где

$$a = L_{\text{ср}} = H \frac{v}{w_0},$$

а x выражается через те же величины с некоторым коэффициентом α :

$$x = \alpha H \frac{v}{w_0}.$$

Это позволяет нам искать и для σ аналогичной зависимости, т. е. функции вида

$$\sigma = f\left(H \frac{v}{w_0}\right).$$

Для установления такой зависимости нами составлена таблица 28, где приводятся вычисленные по опытным данным значения σ и

$$\left(H \frac{v}{w_0}\right).$$

На основании данных таблицы 28 построена графическая зависимость (рис. 150). Расположение точек для разных форм частиц позволяет с достаточной точностью принять общую для них прямолинейную зависимость вида

$$\sigma = f\left(H \frac{v}{w_0}\right).$$

Математическая обработка даёт следующее уравнение связи:

$$\sigma = 0,06 H \frac{v}{w_0} + 0,63$$

для сантиметровых размеров.

Значения среднего квадратичного отклонения σ для точных форм частиц (шариков и пластинок) при выпадении их в потоке

№ частиц	Диаметр (см)	Форма частицы	σ (см)	$H \frac{v}{w_0}$ (см)
1	0,575	Шар	4,64	86,0
2	1,587	»	5,21	59,6
3	0,322	»	4,24	46,6
4	0,255	»	4,91	49,4
5	0,393	»	4,335	43,95
6	0,502	»	4,30	41,75
8	0,364	»	2,57	47,0
9	0,606	»	2,48	33,2
10	0,862	»	2,72	28,0
11	0,356	»	4,599	29,0
12	0,596	»	2,33	21,1
13	0,858	»	2,43	18,05
7	0,505	Пластика	4,53	61,2
17	0,390	»	8,82	129,0
18	0,620	»	7,18	117,0
19	0,920	»	8,14	111,0

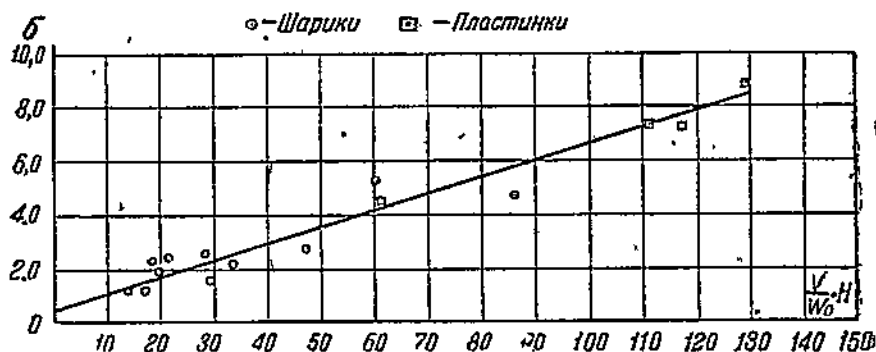


Рис. 150. Зависимость $\sigma = f(H \frac{v}{w})$ для шариков и пластинок.

Прямая не проходит через начало координат, так как при выпадении частиц в спокойной воде (при $v=0$) наблюдается также их рассеивание на дне, т. е. $\sigma \neq 0$.

Однако отклонение частиц в этом случае весьма незначительно, и в дальнейшем вторым членом мы будем пренебрегать. Тогда

$$\sigma = 0,06 H \frac{v}{w_0} \quad (46)$$

А $L_{\max}$ будет равно:

$$L_{\max} = L_{\text{ср}} + 3\sigma = H \frac{v}{w_0} = 1,18 H \frac{v}{w_0}$$

или, учитывая до известной степени отброшенный член в выражении для σ , можно принять для точных форм частиц

$$L_{\max} = 1,20 H \frac{v}{w_0}.$$

Теперь представляется возможным установить и коэффициент β (формула 45):

$$\beta = \frac{(L_{\text{ср}} + 3\sigma) w_0 - H v}{(L_{\text{ср}} + 3\sigma) v} = \frac{\left(H \frac{v}{w_0} + 0,18 H \frac{v}{w_0}\right) w_0 - H v}{\left(H \frac{v}{w_0} + 0,18 H \frac{v}{w_0}\right) v} = 0,152 \frac{w_0}{v}, \quad (47)$$

или $\beta v = 0,152 w_0$ является функцией гидравлической крупности частиц.

Таким образом, βv , которое ранее отождествлялось с вертикальной составляющей скорости в потоке u , здесь представляет ту осреднённую вертикальную скорость потока, с которой он действует на частицу данной крупности. Вполне ясно, что эта скорость оказалась функцией крупности частицы в данных гидравлических условиях, поскольку единственным переменным фактором является только w_0 .

Но $L_{\max}$ может быть вычислена и по $w_{\text{н. min}}$ (формула 42):

$$L_{\max} = H \frac{v}{w_{\text{н. min}}}.$$

Результат должен сходиться.

Пример. Пусть $v = 30$ см/сек., $d = 0,25$ мм; для таких частиц $w_0 \approx 3$ см/сек. при $t = 16,5^\circ\text{C}$. Кинематическая вязкость $\chi = 0,0108$.

$$R_0 = \frac{w_0 d}{\chi} = \frac{3,0 \cdot 0,025}{0,0108} = 6,93$$

$$w_{\text{н. min}} = \frac{0,93 \cdot w_0}{1 + 0,58 \cdot 10^{-4} R_0} = \frac{0,93 \cdot 3}{1 + 0,58 \cdot 10^{-4} \cdot 6,93} \approx 2,79$$

$$\beta v \neq 0,152 w_0 = 0,152 \cdot 3 = 0,456.$$

Тогда имеем:

$$1. \quad L_{\max} = 1,20 H \frac{v}{w_0} = 1,2 H \frac{30}{3} = 12 H.$$

$$2. \quad L_{\max} = H \frac{v}{w_0 - \beta v} = H \frac{30}{3 - 0,456} = 11,8 H.$$

$$3. \quad L_{\max} = H \frac{v}{w_{\text{н. min}}} = H \frac{30}{2,79} = 10,75 H.$$

Расходимость в первых двух подсчётах объясняется округлением коэффициента в первом случае до 1,20. Третий подсчёт дал значительно большую расходимость, потому что при принятии преде-

лов рассеивания частиц по правилу 3с (1-й и 2-й случаи) мы несколько преувеличили $L_{\max}$, по сравнению с опытными его значениями (3-й случай), поскольку число опытных значений $L_{\max}$ было недостаточно для установления предельной его величины.

Таким образом, опыты с точными формами частиц позволили нам установить основную закономерность рассеивания частиц при выпадении в потоке, которая и будет использована в дальнейшем при оперировании с естественными песками.

Однако мы считаем целесообразным проведение опытов по уточнению для более мелких частиц.

Опыты с естественным песком

Условия проведения опытов

В качестве наносов в опытах был использован речной московский песок. Для исследований песок рассортировывался по фракциям и по формам частиц. Сортировка песка на фракции производилась при помощи сит. Сита размерами до полумиллиметра изготовлены из импортной сетки с квадратными отверстиями; более крупные сита имели круглые отверстия.

При изучении выпадения в турбулентном потоке—основной цели наших исследований—применялся песок 12 фракций: 0,08—0,1; 0,1—0,15; 0,15—0,20; 0,15—0,25; 0,3—0,5; 0,5—0,8; 0,8—1,0; 1,0—1,5; 1,5—2,0; 2,0—2,5; 2,0—3,0; 2,5—3,0 мм.

Проводились опыты также со смесями указанных фракций. Помимо разбивки песка на фракции, в некоторых опытах была произведена разбивка по формам частиц. В общем песчинки можно было разделить на следующие четыре характерные формы:

- 1) многогранную,
- 2) округлённую, близкую к шару,
- 3) удлинённую, напоминающую собой трёхосный эллипсоид,
- 4) пластинчатую.

Методика пуска песка в поток была выработана серией предварительных опытов, на основании которых были установлены факторы, могущие искажать характер отложений песка в потоке. Было выявлено, что вводить песок в поток следует не группами, а разбрасывая их, с тем чтобы не было взаимного влияния их друг на друга.

При пуске сразу группы частиц, они вначале падали вместе со значительно большей скоростью, чем отдельные частицы данных размеров, и только после распыления их в потоке начинали падать со свойственной отдельным песчинкам скоростью.

При пуске сухого песка на значительном количестве песчинок образовывались пузырьки воздуха, которые, уменьшая гидравлическую крупность отдельного зерна, приводили к преувеличенным значениям проходимых путей в горизонтальном направлении. Это особенно сказывалось на мелких фракциях. При пуске увлажнённого песка таких пузырьков-парашютов почти не образовывалось, поэтому во всех исследованиях применялся смоченный песок.

Пузырьки на песчинках появлялись также и при значительной скорости их падения на поверхность потока. Поэтому необходимо было песок сбрасывать с возможно меньшей высоты над уровнем воды.

Кроме того, высота, с которой сбрасывался песок, могла иметь влияние и на скорость падения частиц в потоке. С этой целью были проведены специальные опыты по бросанию песчинок с различной высоты.

Наибольшая высота бросания равнялась, примерно, одному метру, наименьшая—нулю.

Оказалось, что высота падения частиц над уровнем воды на величину пути, проходимого ими вдоль потока при выпадении, заметного влияния не оказывает.

Во всех последующих опытах, с целью устранения захвата пузырьков воздуха, песок подавался с практически минимально допустимой высоты над уровнем воды.

Пуск песка производился как по оси потока, так и по всей ширине его. Во втором случае наблюдалось более быстрое выпадение песка у стенок вследствие уменьшенных скоростей у бортов.

Количество пускаемого песка составляло до нескольких килограммов. В каждом опыте сбрасывалось столько песка; чтобы можно было получить совершенно ясные границы его выпадения. Это зависело как от крупности самого песка; так и от гидравлических элементов потока (глубины и скорости).

При своём выпадении на дно лотка, песок откладывался не в одном пункте, а давал совершенно закономерную зону выпадения. Объясняется это многими обстоятельствами:

во-первых, сама фракция, классифицированная известным образом по крупности; содержит зёрна, различные по линейным размерам, геометрическим формам и по удельному весу;

во-вторых, турбулентность потока не может не оказывать влияния на разброс частиц. Это установлено опытами и проф. Великанова и настоящими исследованиями с точными формами частиц (шарик, пластинка).

Опыты показали, что при отложении выпавшего песка на дно лотка с совершенной отчётливостью вырисовываются три зоны. В начале короткий участок занимает зона слабого отложения, затем зона массового отложения и дальше снова зона слабого отложения, занимающая значительно большее протяжение, нежели первая зона. Граница последней зоны определяется с трудом, так как она представляет собой поле, усеянное отдельными зёрнами песка, по тем или иным причинам не являющимися типичными представителями данной фракции. Зачастую эта зона заканчивается двумя-тремя, далеко друг от друга лежащими, зёрнами. Это большей частью тонкие пластинки или сильно вытянутые частицы неправильной формы.

Первая зона слабого выпадения характеризуется, напротив, наиболее тяжёлыми частицами правильной формы, с малым коэффициентом сопротивления. Её границы отсчитываются без затруднений. Точнее всего отсчитываются границы зоны массового выпа-

дения, где песок лежит бугром, с наибольшей высотой, достигавшей в опытах 6—7 см.

После того как в предварительных опытах было обнаружено свойство фракции давать ясно очерченную зону массового выпадения, на неё было обращено главное наше внимание. При первом же пуске фракции в поток установлено, что зёрна (основные представители данной фракции) выпадают исключительно в зоне массового отложения; за пределами же её откладываются зёрна «дефективные». За пределами массового выпадения (учитываемого для последующих расчётов) откладывается не больше 3,5% от всего выпавшего количества песка.

Всегда можно ожидать, что на сите минимального диаметра останется известная часть зёрен, размеры которых меньше отверстий этого сита. Даже при очень продолжительном отсеивании эти дефективные зёрна остаются. Кроме того, по весу частицы одной и той же фракции значительно отличаются друг от друга, вследствие разнообразия их форм.

Наряду с дефективными зёрнами, за пределами массового отложения откладывается значительная часть пластинчатых зёрен нормальных для данной фракции размеров.

При проведении опытов нами фиксировались четыре границы выпадения:

- 1) начало зоны слабого отложения (I зоны)
- 2) начало массового отложения (граница I и II зоны)
- 3) конец массового отложения (граница II и III зоны)
- 4) конец частичного отложения (III зоны)

При турбулентном режиме отсчёты первых трёх границ делались при вытянутых зонах отложений (большие скорости и глубины) с точностью до 5—10 см, что давало относительную точность, примерно, в 5%; при более сжатых зонах (малые скорости и глубины) с абсолютной точностью до 1—5 см, при относительной точности тоже в 5%.

Конец частичного отложения определялся с абсолютной точностью до 10—15 см при относительной точности, примерно, 5—7%.

Помимо замеров границ, брались пробы со дна в различных местах отложений. В некоторой серии опытов измерялся профиль отложений по оси, в некоторой—брались пробы со дна в 5—7 пунктах по длине лотка, затем песок просушивался и завешивался, и по этим данным строились интегральные кривые отложений песка.

Взятые пробы со дна распределялись по формам, но, ввиду чрезвычайной кропотливости этой операции, сортировка на формы проводилась только для некоторых характерных опытов.

Характеристики подопытного песка

Одним из важных факторов в определении зоны выпадения наносов является гидравлическая крупность—скорость падения наносов в спокойной воде. Изучением гидравлической крупности занималось очень много исследователей, в результате чего и имеется большое количество формул.

Исследования некоторых авторов носили более точный характер с учётом температуры воды, а следовательно, и кинематической вязкости; некоторые учитывают даже форму падающих тел. Но если сопоставить полученные значения гидравлической крупности для одной и той же фракции по различным формулам, то получается расхожимость, иногда довольно значительная, достигающая 100%.

Пользуются нередко, например, формулами Крей. Но если разобраться в его методике исследований, то увидим, что для некоторых фракций Крей получал значения гидравлической крупности по четырём отдельным наблюдениям.

Когда инж. Зегжда в работе «Падение зёрен песка и гравия в спокойной воде» подверг математической обработке наблюдения Крей, то коэффициент, полученный Креем, оказался неточным: вместо 0,714 по Крею, следует брать 0,465 по Зегжде.

Учитывая, что гидравлическая крупность зависит от формы частиц, которая не была охарактеризована при выводе существующих формул, мы и провели собственные исследования по определению гидравлической крупности подопытного песка.

Проведённый анализ опытов других исследователей позволил нам установить приемлемый для наших условий способ определения гидравлической крупности частиц.

Наши наблюдения над падением песчинок в спокойной воде проводились в стеклянных цилиндрических трубках двух диаметров: 7 и 5 см. Длина каждой трубки равнялась 180 см.

Чтобы придать устойчивость трубкам, они были закреплены внизу и сверху в деревянном корпусе. Установка трубок производилась строго вертикально по отвесу. По длине трубки были намечены две визирные линии: на расстоянии от уровня воды и низа трубки по 15 см для достижения равномерности падения песчинки и для удобства отсчёта внизу.

За путь падения песчинок принималось расстояние между визирными линиями, равное 150 см. За некоторое время до начала бросания песчинок в трубку на дно опускался специально сконструированный цилиндрический сосуд на трёх нитях для вынимания осевших частиц. Это необходимо было для повторения бросания тех же самых песчинок.

Перед началом опыта и по окончании его в трёх точках трубки измерялась температура воды (у дна, посредине и у поверхности). Замеры температуры производились термометром с точностью делений в $0,1^{\circ}\text{C}$. Одновременно замиралась и температура воздуха в комнате. Опыты производились при условии, чтобы температура воды в различных точках трубки, а также температура воды и комнаты не давали разницы больше $0,5^{\circ}\text{C}$, дабы не создавались конвекционные токи. Наполнение трубки водой комнатной температуры производилось заблаговременно.

Вся установка с трубками была помещена в глубине комнаты, чтобы солнечные лучи или воздушные течения не могли нарушить установившиеся условия и тем повлиять на точность опытов.

Одновременно были проведены опыты по установлению влияния температуры воды на гидравлическую крупность частиц. В этих опытах трубка диаметром в 7 см наполнялась водой, температура

которой значительно отличалась от температуры в комнате, и это обстоятельство сильно осложняло проведение опытов.

Прежде всего пришлось трубку заключить в деревянный чехол квадратного сечения с двумя стеклянными стенками для наблюдения за падающими песчинками. Этот чехол давал возможность замедлять падение или повышение температуры воды в трубке. Минимальная температура в этих опытах была близка к нулю, максимальная к 30°C . В этом диапазоне температур изучалось влияние их на гидравлическую крутизну. Вода для опытов предварительно нагревалась или охлаждалась. Прежде чем проводить опыты, мы установили ход нагревания холодной и охлаждения тёплой воды в трубке. Зная, по предыдущим опытам, время, потребное на проведение одного опыта, нами устанавливалось изменение температуры воды в течение этого времени. Чтобы выяснить возможность проведения подряд нескольких опытов в одной и той же воде при различных температурах, было проведено несколько предварительных опытов по охлаждению нагретой воды и нагреванию охлаждённой. За недостатком места приведём таблицу 29 только одного методического опыта по нагреванию охлаждённой воды.

Таблица 29

Изменения температур воды в трубке, воздуха в изоляционной камере и в комнате при нагревании охлажденной воды

Время (часы и минуты)	Температура (в градусах C)				
	Температура воды в трубке			температура в комнате	температура в камере
	верхний вымп.	средний вымп.	нижний вымп.		
1	2	3	4	5	6
0—00	0,8	1,0	1,2	18,8	6,9
0—11	1,5	1,8	2,3	18,0	8,0
0—20	2,0	2,1	2,9	18,0	9,0
0—30	2,5	2,9	3,2	18,5	9,5
0—40	3,0	3,2	3,6	17,6	9,9
0—50	4,9	4,0	3,8	17,6	10,4
1—00	5,2	4,5	4,2	17,4	11,0
1—10	6,0	5,0	7,6	17,3	11,2
1—20	6,8	5,8	5,2	17,2	11,7
1—30	7,3	6,2	5,4	17,5	12,0
1—40	7,5	6,8	6,1	17,5	12,3
1—50	8,4	7,2	6,3	17,3	12,6
2—00	8,7	7,2	6,8	16,6	13,0
2—10	9,3	7,8	7,2	15,1	12,9
2—20	9,4	8,2	7,5	15,7	12,8
2—30	10,1	8,3	7,7	14,7	13,1
2—40	10,3	8,7	8,2	14,2	13,1
2—50	10,7	5,8	8,0	14,8	13,2
3—00	10,9	9,2	8,3	14,0	13,2
3—10	11,1	9,8	8,3	13,6	13,3
3—20	11,3	10,2	9,0	14,7	13,8
3—30	11,7	10,0	9,0	15,0	13,6
3—40	11,9	10,5	9,2	15,5	13,9
3—50	12,1	10,9	9,3	16,2	14,2
4—00	12,2	11,2	10,0	16,7	14,4

Из приведённой таблицы видно, как при переходе через характерную температуру (4°) расположение тёплых и холодных слоёв воды меняется по высоте трубки. Методических опытов с охлаждённой водой было проведено два, и оба показали одинаковую картину. С течением времени разница между температурами в различных точках трубки нарастает.

Если в начальный момент, т. е. через 18—20 минут после наполнения трубки, температура у верхнего и нижнего створов отличалась на $0,4^{\circ}$, то по прошествии двух часов эта расхожимость превышала 2° .

Такая же картина нарастания разности температур верхних и нижних слоёв наблюдалась и при охлаждении нагретой воды. В дальнейшем температура отдельных слоёв воды в трубке выравнивается и приближается к температуре окружающей среды.

Перед каждым опытом и после него продолжалось измерение температуры воздуха в комнате и камере и воды в трубке в трёх точках: у верхнего створа, на середине длины трубки и у нижнего створа.

Несмотря на принятые меры, нам не удалось получить одинаковой температуры в различных точках трубки по высоте, а также и на протяжении опыта. Но эти изменения были в общем незначительны. Более значительные колебания наблюдались по времени от начала до конца опытов: изменения температуры в этом случае достигли $1-1,5^{\circ}$ и в одном случае $2,8^{\circ}$. Однако с точки зрения влияния температуры воды на гидравлическую крупность такие колебания её не могут оказать заметного влияния—ошибки получаются в пределах точности измерения скорости падения и не превышают 4% для наиболее мелких фракций и для крупных— $1-1,5\%$.

В опытах по установлению гидравлической крупности брались фракции: $0,3-0,5$; $0,6-0,8$; $0,8-1,0$; $1,0-1,5$; $2,0-2,5$; $2,5-3,0$; $3,0-4,0$ мм и разбивались на четыре указанные выше формы. Влияние температуры на гидравлическую крупность изучалось на фракциях: $0,6-0,8$; $0,8-1,0$; $1,0-1,5$; $1,5-2,0$ и $2,0-2,5$ мм с одной округлённой формой; только для фракции $1,0-1,5$ была испытана и пластинчатая форма частиц.

Первые две фракции— $0,3-0,5$ и $0,6-0,8$ мм—сортировались только на первые три формы, так как четвёртую—пластинчатую—форму в таких мелких фракциях было трудно отделить от удлиненной.

В опытах по гидравлической крупности участвовало по 30 песчинок каждой формы данной фракции. Таким образом, все фракции, за исключением первых двух, дали по 120 наблюдений, а первые две—по 90 наблюдений. Сортировка песка производилась следующим образом.

Брали навеску песка определённой фракции и тщательно сортировали её на принятые формы. Дважды определяли процентное содержание частиц каждой формы во фракции и устанавливали средние веса отдельных частиц.

Ниже приводится таблица 30, где имеются данные в процентах

о количестве частиц различных форм, плотности, среднем весе одной песчинки, а также отношение веса одной песчинки данной формы к весу условного шара, диаметр которого равен среднему диаметру фракции при той же плотности, какую имеют песчинки.

Из табл. 30 видно, что наиболее тяжёлыми песчинками являются песчинки удлинённой формы, а наиболее лёгкими—пластинчатой.

Наибольшее количество во фракции содержится песчинок многогранной формы (от 53 до 69%) и незначительное количество пластинок от 3 до 7%, и только самая крупная фракция дала пластинок 15,25% по числу, а по весу 9,3%.

Все предназначенные для опыта 30 песчинок сбрасывались по одной штуке в предварительно смоченном состоянии.

Для этого песчинки помещались в стакан с водой и оттуда брались пинцетом и подводились на 1—2 мм под уровень воды в трубке.

Время падения песчинки отсчитывалось с точностью до 0,1 секунды (секундомер был выверен в вертушечно-тарировочном бюро МГМИ). При падении песчинка всё время находилась под наблюдением. Для каждой песчинки в журнал записывалась характеристика траектории её падения. Сбрасывались песчинки в центре сечения трубки с тем, чтобы направить её по оси. В действительности же песчинки отклонялись от желательной траектории в сторону и падали, вибрируя или крутясь. Некоторые песчинки (всего 4 песчинки) ударялись о стенки трубки, причём, ударяясь о стенку с одной стороны, песчинка переходила по диагонали в противоположную сторону и также ударялась о стенку. Общее число ударов о стенки зависело от местоположения по вертикали первого удара.

Интересные явления наблюдались при падении песчинок пластинчатой и удлинённой формы, которые наблюдаются и в повседневной жизни, например, при падении листьев с деревьев. Удлинённая форма падала, удерживая свою большую ось в горизонтальной плоскости, пластинчатая форма падала плашмя. При сбрасывании были попытки пластинчатые песчинки дускать ребром, но безрезультатно—пластинки мгновенно поворачивались своей большей плоскостью нормально к направлению движения. Вследствие указанного обстоятельства гидравлическая крупность их уменьшалась.

Скорость падения отдельной песчинки определялась делением расстояния между визирными линиями на замеренное время. Средняя скорость—гидравлическая крупность данной формы песчинки—определялась как среднее арифметическое из всех скоростей отдельных песчинок. Средняя гидравлическая крупность всей фракции определялась с учётом процентного содержания отдельных форм в данной фракции по формуле:

$$w = \frac{\sum w_{\phi} \cdot p}{100},$$

здесь w_{ϕ} —гидравлическая крупность частиц отдельных форм,
 p —процентное содержание отдельных форм во фракции по числу.

Таблица 30

Диаметр фракции (мм)	Формы песчинок	Плотность песчинок	Вес условного шара (г)	Процент содер- жания в обра- ще по числу	Процент содер- жания в обра- ще по весу	Действительный вес песчинок (г)	Отношение веса песчинок к весу условного шара
1	2	3	4	5	6	7	8
3,0—4,0	Многогранная	2,625	0,0588	53,40	53,8	0,0384	0,653
3,0—4,0	Округлённая	2,625	0,0588	14,25	16,5	0,0436	0,741
3,0—4,0	Удлиненная	2,625	0,0588	16,90	20,4	0,0450	0,782
3,0—4,0	Пластинчатая	2,625	0,0588	16,25	9,3	0,0228	0,388
2,5—3,0	Многогранная	2,650	0,0288	69,30	66,7	0,0188	0,653
2,5—3,0	Округлённая	2,650	0,0288	10,90	12,5	0,0223	0,774
2,5—3,0	Удлиненная	2,650	0,0288	12,75	15,9	0,0248	0,847
2,5—3,0	Пластинчатая	2,650	0,0288	7,05	4,9	0,0134	0,465
2,0—2,5	Многогранная	2,665	0,0159	63,15	60,2	0,0143	0,900
2,0—2,5	Округлённая	2,665	0,0159	9,66	10,5	0,0162	1,020
2,0—2,5	Удлиненная	2,665	0,0159	21,80	25,3	0,0174	1,094
2,0—2,5	Пластинчатая	2,665	0,0159	5,39	4,0	0,0111	0,700
1,0—1,5	Многогранная	2,657	0,00271	44,10	52,7	0,0024	0,885
1,0—1,5	Округлённая	2,657	0,00271	33,32	31,1	0,00234	0,843
1,0—1,5	Удлиненная	2,657	0,00271	8,30	12,8	0,00385	1,421
1,0—1,5	Пластинчатая	2,657	0,00271	3,28	3,4	0,0026	0,959
0,8—1,0	Многогранная	2,667	0,001075	68,70	66,3	0,00126	1,172
0,8—1,0	Округлённая	2,667	0,001075	17,23	17,4	0,00181	1,219
0,8—1,0	Удлиненная	2,667	0,001075	11,05	13,6	0,00160	1,488
0,8—1,0	Пластинчатая	2,667	0,001075	3,02	2,5	0,00107	0,995
0,6—0,8	Многогранная	2,667	0,000479	68,60	65,2	0,000701	1,463
0,6—0,8	Округлённая	2,667	0,000479	16,55	16,3	0,000722	1,507
0,6—0,8	Удлиненная	2,667	0,000479	14,85	18,5	0,000912	1,904
0,3—0,5	Многогранная	2,66	0,0000891	53,7	47,0	0,0000707	0,79
0,3—0,5	Округлённая	2,66	0,0000891	29,3	31,3	0,0000864	0,970
0,3—0,5	Удлиненная	2,66	0,0000891	17,0	21,7	0,0001028	1,154

Результаты наблюдений по гидравлической крупности частиц по отдельным формам и в целом для всей фракции сведены в таблицы 31 и 32.

Гидравлическая крупность w_0 приведена к температуре воды 10°C . Результаты представлены в виде графика (рис. 151) для удобства пользования.

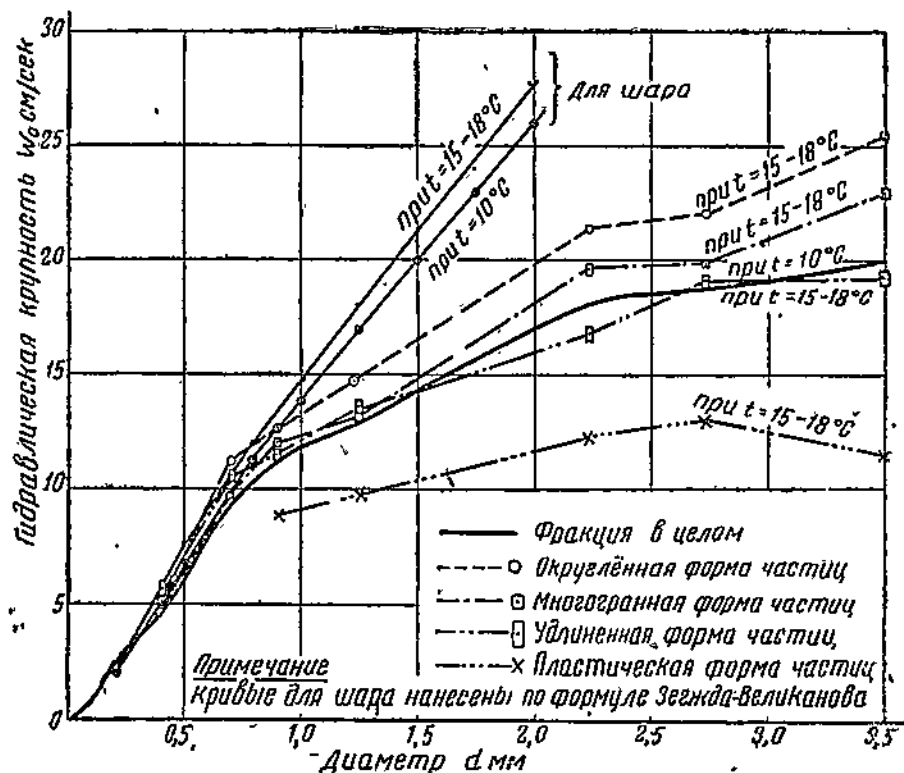


Рис. 151. Зависимости гидравлической крупности песчинок разных форм от их диаметра по опытным данным.

На основании этих данных может быть получена эмпирическая зависимость $w_0 = f(d)$, которая нами даётся в виде:

$$w_0 = 36,0\sqrt{d} \quad (48)$$

для w_0 и d в см. Однако это уравнение выражает осреднённую зависимость, дающую в некоторых случаях отклонения от фактически полученных величин w_0 до $0,75 \text{ см/сек}$.¹ Поэтому во всех дальнейших расчётах нами принимались фактически определённые гидравлические крупности w_0 для фракции, поскольку каждая точка графика получена из многочисленного количества бросаний—от 90 до 120.

¹ Что составляет до 3,5% от фактически замеренных.

Таблица 31

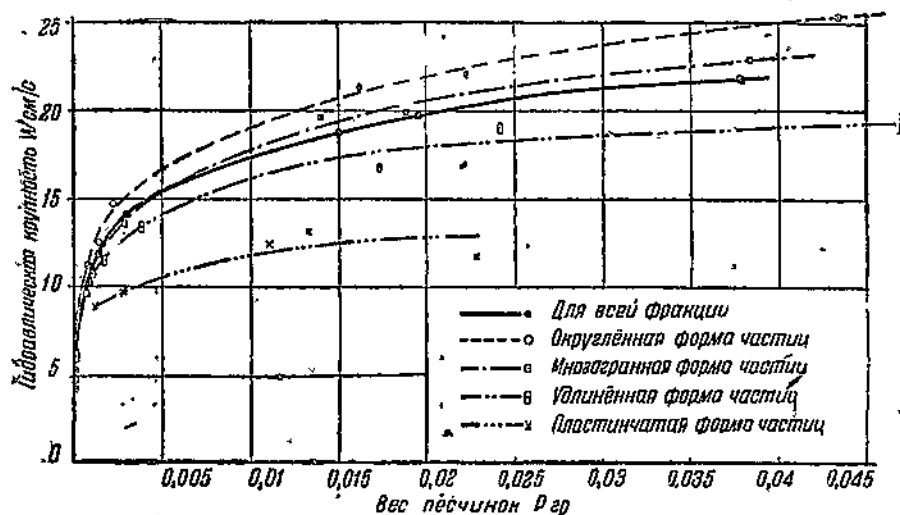
Фракции (мм)	Средний диаметр фракций (мм)	Форма пес- чипок	Темпе- ратура воды (°C)	$w_{\text{ср}}$ (форм.) (см/сек.)	Число наблю- дений	Плот- ность песчи- пок	Кинемати- ческий коэффици- ент вязко- сти
1	2	3	4	5	6	7	8
3,0—4,0	3,5	Многогранная	18,0	22,88	30	2,625	0,01062
	3,5	Округлённая	17,9	25,44	30	2,625	0,01064
	3,5	Удлиненная	17,8	19,28	30	2,625	0,01066
	3,5	Пластинчатая	17,8	11,64	30	2,625	0,01066
2,5—3,0	2,75	Многогранная	17,4	19,94	30	2,644	0,01028
	2,75	Округлённая	17,8	22,11	30	2,644	0,01020
	2,75	Удлиненная	18,0	19,50	30	2,644	0,01033
	2,75	Пластинчатая	17,9	13,05	30	2,644	0,01020
2,0—2,5	2,25	Многогранная	17,0	19,60	30	2,665	0,01087
	2,25	Округлённая	17,0	21,41	30	2,665	0,01087
	2,25	Удлиненная	17,0	16,72	30	2,665	0,01087
	2,25	Пластинчатая	17,0	12,33	30	2,665	0,01087
1,0—1,5	1,25	Многогранная	18,6	13,10	30	2,657	0,01045
	1,25	Округлённая	16,7	14,80	30	2,657	0,01096
	1,25	Удлиненная	16,7	13,30	30	2,657	0,01096
	1,25	Пластинчатая	17,2	9,65	28	2,657	0,01082
0,8—1,0	0,90	Многогранная	17,5	11,85	30	2,667	0,01075
	0,90	Округлённая	17,5	12,54	30	2,667	0,01075
	0,90	Удлиненная	17,5	11,49	30	2,667	0,01075
	0,90	Пластинчатая	17,5	8,77	30	2,667	0,01075
0,6—0,8	0,70	Многогранная	15,7	9,75	30	2,667	0,01125
	0,70	Округлённая	16,0	11,10	30	2,667	0,01115
	0,70	Удлиненная	17,5	10,52	30	2,667	0,01075
0,3—0,5	0,40	Многогранная	15,3	4,70	30	2,660	0,01135
	0,40	Округлённая	15,3	5,07	30	2,660	0,01135
	0,40	Удлиненная	14,9	5,40	30	2,660	0,01146

Таблица 32

Фракции (мм)	Средний диаметр фракций (мм)	Средняя темпера- тура во- ды (°C)	Средняя скорость надения фракций (см/сек.)	Число на- блюде- ний	Плот- ность пес- чицы	Кинемати- ческий коэффици- ент вязко- сти (см ² /сек.)	Число Рей- нольдса	$w_{\text{пр}}$ -приведенная к температу- ре воды 10° C (см/сек.)
3,0—4,0	3,50	17,9	20,88	120	2,625	0,01064	688	20,08
2,5—3,0	2,75	19,3	19,65	120	2,644	0,01025	501	18,72
2,0—2,5	2,35	17,0	18,74	120	2,665	0,01087	388	18,04
1,0—1,5	1,25	17,3	13,57	188	2,657	0,01080	157	12,84
0,8—1,0	0,90	17,5	11,84	120	2,667	0,01075	99,2	11,10
0,6—0,8	0,70	16,4	10,07	90	2,667	0,01104	64	9,47
0,3—0,5	0,40	15,2	4,93	90	2,660	0,01136	17,4	4,54

На рисунке 151 показаны одновременно зависимости $w_0 = f(d)$ для отдельных форм песчинок.

Как видим, значительные отклонения даёт только пластинчатая форма. Но так как содержание этой формы во фракции незначительное, то она мало отражается на величине осреднённой гидравлической крупности для всей фракции. Поэтому мы считаем вполне допу-



Таблица

$d_{ср}$ мм	П о ф о р м а м								Для всей фракции	
	Многогранная		Округлённая		Удлинённая		Пластинчатая			
	$W_{ср}, c$	$P_{гр}$	$W_{ср}, c$	$P_{гр}$	$W_{ср}, c$	$P_{гр}$	$W_{ср}, c$	$P_{гр}$	$W_{ср}, c$	$P_{ср, гр}$
0,40	4,70	0,000071	5,10	0,000086	5,40	0,000103	-	-	4,90	0,00008
0,70	9,70	0,0007	11,10	0,0007	10,50	0,0009	-	-	10,10	0,00074
0,90	11,80	0,0013	12,50	0,0013	11,50	0,0016	8,8	0,0011	11,80	0,0013
1,25	13,10	0,0024	14,80	0,0023	13,30	0,0038	9,6	0,0025	13,60	0,0025
2,25	19,60	0,0143	21,40	0,0162	16,70	0,0174	12,30	0,0111	16,70	0,0150
2,75	19,96	0,0188	22,11	0,0223	19,00	0,0243	13,05	0,0134	19,30	0,0196
3,50	22,90	0,0384	25,40	0,0436	19,30	0,0450	11,60	0,0228	21,80	0,03805

Рис. 152. Зависимости гидравлической крупности песчинок от их среднего веса для равных форм и фракций в целом;

стимым все расчёты вести по осреднённой гидравлической крупности для фракции w_0 . Одновременно нами была сделана попытка получить обобщённую зависимость гидравлической крупности от веса частиц как для фракции в целом, так и для отдельных форм. Графические зависимости представлены на рисунке 152.

Как видим, пластинчатая форма и в этом случае даёт значительное отклонение в сторону уменьшения гидравлической крупности. Удлиненная форма частиц также даёт некоторое уменьшение w_0 , по сравнению со средней w_0 для всей фракции.

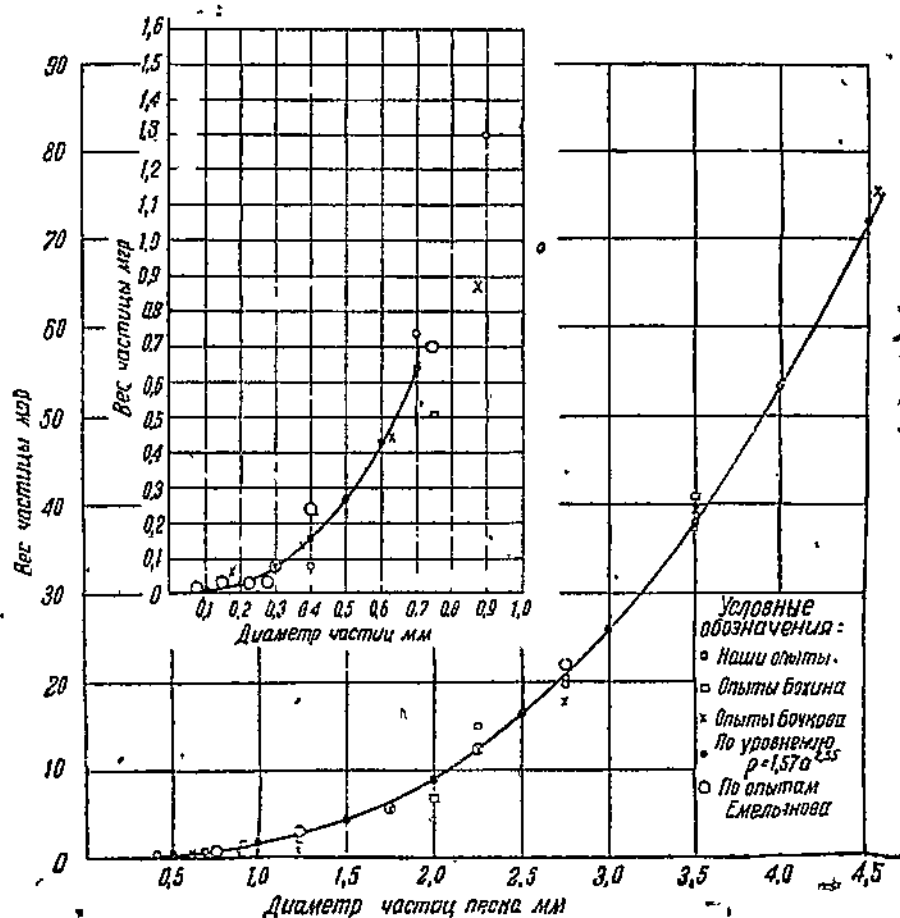


Рис. 153. Зависимость веса песчинок от их диаметра для фракций в целом.

Наибольшее значение w_0 даёт округлённая форма частиц. Но в виду того что процентное содержание этих форм во фракции относительно невелико, то решающей является основная форма частиц — многогранная, содержание которой даёт наибольший процент, колеблющийся в пределах 53—69%.

Эмпирическая зависимость для этой последней $w_0 = f(p)$ почти точно совпадает с зависимостью для всей фракции. Зависимость

$w_0 = f(p)$ для всей фракции может быть представлена в виде уравнения:

$$w_0 = 10,43 p^{0,186}, \quad (49)$$

где p — вес песчинки в граммах.

Чтобы облегчить пользование этой зависимостью на производстве, нами составлена дополнительная характеристика естественных пес-

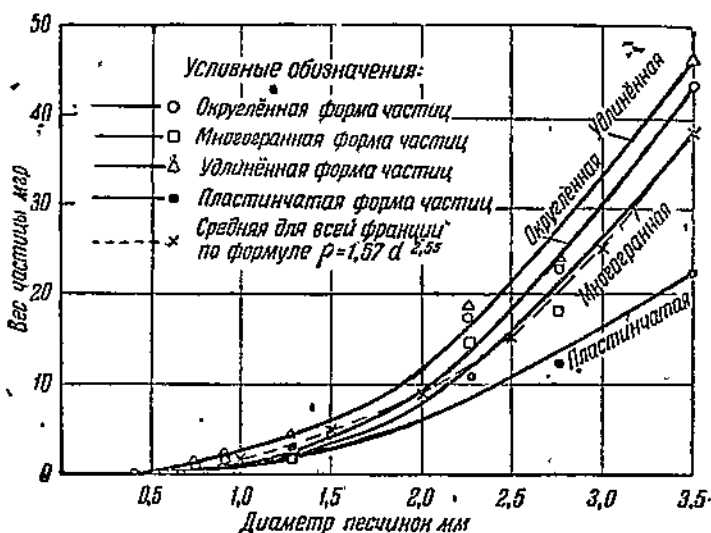


Рис. 154. Зависимость веса песчинок от их диаметра для разных форм частиц.

ков, выраженная зависимостью $p = f(d)$, что освобождает от необходимости определять каждый раз вес отдельных частиц по фракциям (рис. 153, 154).

При получении такой зависимости нами использованы данные не только наших опытов, но и данные других исследователей (таб. 33).

Получилась в общем достаточно устойчивая зависимость, которая нами выражена в виде уравнения (50):

$$p = 1,57 d^{2,55} \text{ мг.} \quad (50)$$

Здесь d представляет средний арифметический диаметр фракции, полученный путём деления пополам суммы крайних значений d для каждой фракции.

Вес песчинок (кг)

Автор	0,00-0,10	0,10-0,20	0,10-0,25	0,20-0,25	0,25-0,30	0,25-0,50	0,3-0,5	0,5-0,75	0,6-0,8	0,5-1,0	0,75-1,0	0,8-1,0	1,0-1,5	1,5-2,00	1,5-2,5	2,0-2,5	2,5-3,0	3,0-4,0	4,0-5,0	% Дельвин
Наши опы- ты							0,080		0,74			1,30	2,50			15,0	19,59	38,05		2,65
Н.М. Боч- ков			0,065			0,133		0,444			0,884		1,27	5,932		12,24	17,68	39,75	4,76	2,63
Емелья- нов ¹							0,24						2,9	6,3		12,4	21,8			2,65
Ф.М. Бо- хин	0,0183	0,025		0,030	0,035					0,7					6,97		19,90	40,60		2,65
Вес шара того же диаметра ²			0,0074			0,0735	0,0888	0,339	0,476	0,584	0,933	1,012	71	7,44	41,116	15,80	28,90	59,40	126,50	

¹ Песок до диаметра 0,30 мм взят из Люберецкого карьера, крупнее 0,3 мм — из карьеров за Выселками у Тимирязевской академии.

² Диаметр вычислен как среднее арифметическое между крайними значениями фракции.

Пользуясь полученной зависимостью $p = f(d)$, можем установить поправочный коэффициент α к весу песчинки, вычисленному по объёму шара среднего диаметра.

$$p = \alpha_n \gamma_1 \frac{\pi d^3}{6} = 1,57 d^{2,55} \frac{\gamma_1}{2,65}$$

для любого γ_1 .

Отсюда α — коэффициент, зависящий от диаметра частиц, будет, равен:

$$\alpha_n = \frac{0,592 \cdot 6}{\pi d^{0,45}} = \frac{1,13}{d^{0,45}}$$

Значит вес песчинки можно определять по формуле:

$$p = \alpha_n P_{ш}, \quad (54)$$

где $P_{ш}$ — вес шара данного диаметра.

Влияние температуры воды на гидравлическую крупность

Из указанных выше фракций, с которыми проводились опыты по установлению влияния температуры воды на величину w , были отсортированы частицы разных форм, в общем в очень ограниченном числе и преимущественно округлённой формы (табл. 34).

Таблица 34

Фракции (мм)	Средний диаметр частиц (мм)	Форма частиц	Полученная гидравлическая крупность их при $t=10^\circ \text{C}$ (см/сек.)
2,0 — 2,5	2,25	Округлённая	21,9
1,5 — 2,0	1,75	»	20,17
1,0 — 1,5	1,25	»	15,05
1,0 — 1,5	1,25	Пластинчатая	10,1
0,8 — 1,0	0,9	Округлённая	12,6
0,6 — 0,8	0,7	»	10,6

Температура воды менялась в пределах $2-30^\circ \text{C}$.

Результаты наблюдения сведены в таблицу 35.

По этому же вопросу проводились исследования Б. В. Архангельским (6) и получены следующие данные для округлённой формы частиц песка (табл. 36).

Так как основным фактором, влияющим на гидравлическую крупность при изменении температуры воды, является вязкость её, влияние которой учтено в формулах Стокса и Озеена, то нами определены гидравлические крупности по этим формулам для разных температур воды. Результаты представлены в таблице 37.

Таблица 35

Округлённая форма частиц						Плоскостчатая форма		Округлённая форма частиц			
2,0-2,5 мм		1,5-2,0 мм		1,0-1,5 мм		1,0-1,5 мм		0,8-1,0 мм		0,6-0,8 мм	
$\frac{w}{(\text{см/сек.})}$	t (°C)	$\frac{w}{(\text{см/сек.})}$	t (°C)	$\frac{w}{(\text{см/сек.})}$	t (°C)	$\frac{w}{(\text{см/сек.})}$	t (°C)	$\frac{w}{(\text{см/сек.})}$	t (°C)	$\frac{w}{(\text{см/сек.})}$	t (°C)
23,14	24,4	20,93	13,3	14,66	7,2	10,62	10,8	12,88	11,0	12,25	22,8
21,83	4,7	21,18	15,6	15,00	10,8	10,23	15,6	13,16	14,9	10,34	6,3
22,08	16,5	21,18	24,1	14,41	2,8	10,28	24,1	13,7	20,5	11,50	17,0
21,68	11,8	21,42	20,4	14,71	4,6	10,50	20,4	13,98	25,2	11,21	13,0
22,70	30,4	21,67	26,3	15,98	18,6	10,46	28,3	14,38	30,5	12,57	30,4
22,10	22,5	20,73	15,2	15,70	16,2	10,31	15,2	11,91	3,5	11,79	22,5
24,11	8,1	20,96	21,3	16,51	24,2	10,01	21,3	11,95	5,9	10,49	8,1
22,54	20,6	21,48	26,0	17,01	29,5	10,32	24,2	12,51	9,7	11,98	20,6
22,51	24,7	20,25	10,8	—	—	9,91	10,8	—	—	12,12	24,7
21,84	3,6	19,35	2,6	—	—	9,97	4,5	—	—	—	—
22,19	10,6	20,05	6,5	—	—	10,52	7,4	—	—	—	—
22,75	26,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22,97	29,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22,24	9,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Таблица 36

Диаметр фракции (мм)	Гидравлическая крупность w (см/сек.)			
	$t=5^{\circ}\text{C}$	10°C	15°C	20°C
1,0	10,15	10,63	11,15	11,66
0,75	7,65	8,11	8,58	8,95
0,50	4,79	5,96	5,67	5,88
0,40	3,72	3,99	4,61	4,85
0,30	2,47	2,76	3,21	3,37
0,20	1,32	1,51	1,70	1,81

Таблица 37

Диаметр фракции (мм)	Гидравлическая крупность w (см/сек.)							
	по Стоксу				по Озесу			
	5°C	10°	15°	20°	5°	10°	15°	20°
2,25	—	—	—	—	10,33	10,34	10,35	10,36
1,75	—	—	—	—	9,08	9,09	9,10	9,11
1,25	—	—	—	—	7,63	7,64	7,65	7,66
1,0	—	—	—	—	6,78	6,80	6,82	6,83
0,75	—	—	—	—	5,80	5,83	5,85	5,87
0,50	5,32	6,18	7,40	8,01	3,32	3,38	3,44	3,47
0,20	2,37	2,75	3,16	3,56	2,43	2,51	2,58	2,63
0,10	0,59	0,69	0,79	0,89	1,14	1,24	1,33	1,40
0,05	0,15	0,17	0,20	0,22	0,33	0,42	0,47	0,53
0,02	0,024	0,028	0,032	0,036	0,05	—	—	0,10

Все результаты подсчетов и наших исследований нанесены на график (рис. 155). Прежде всего отметим прямолинейную зависимость $w=f(t)$ в последующих пределах. В общем можно констатировать, что с уменьшением крупности частиц влияние температуры оказы-

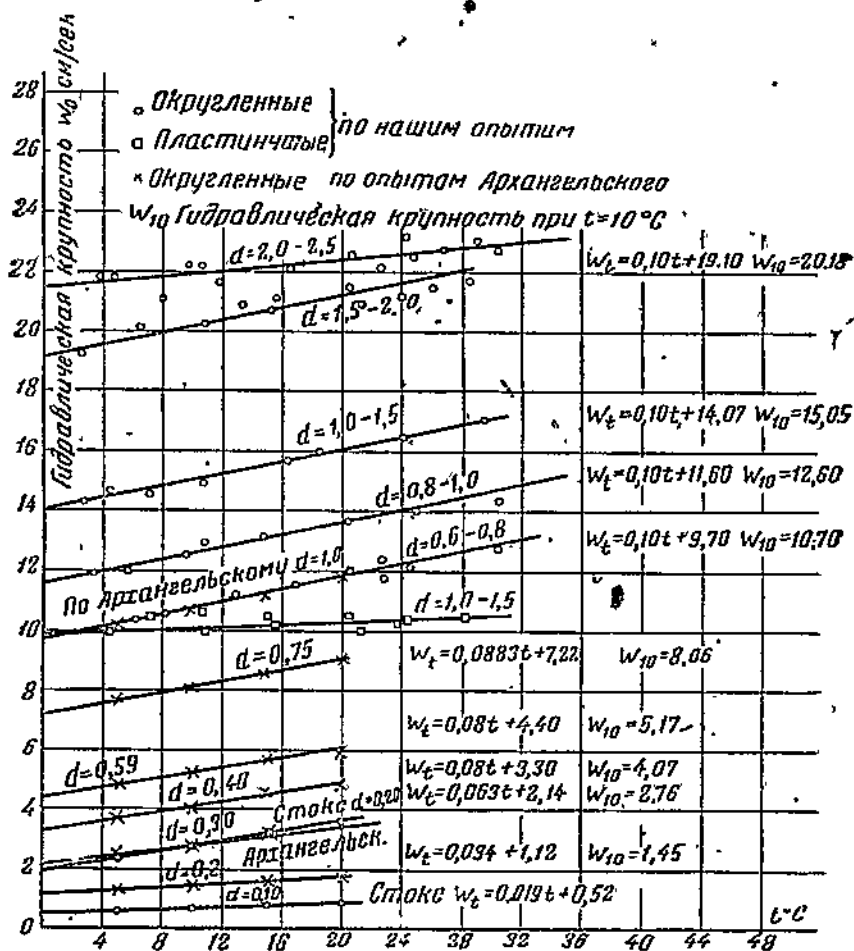


Рис. 155. Зависимость гидравлической крупности песчинок разных форм от температуры воды.

вается весьма заметно. Более мелкие частицы получают относительно большее увеличение скорости падения с повышением температуры воды.

Если рассмотреть приращение гидравлической крупности на 1°C , т. е. определить величину выражения $\frac{w_t - w_{t=0}}{t} = a$, то это абсолют-

ное приращение гидравлической крупности на 1°C будет уменьшаться с уменьшением диаметра частиц¹. Результаты подсчетов значений $\frac{w_t - w_{t=0}}{t}$ нами сведены в таблицу 38, где приведены также вычисленные нами значения a из опытов инж. Васильева (16). Здесь w_t и $w_{t=0}$ гидравлические крупности при температурах t и 0° .

Таблица 38

Наши опыты		Опыты Архангельского		По Стоксу		По Осесу		По Васильеву	
Диаметр фракции d (мм)	$a = \frac{w_t - w_{t=0}}{t}$ (см/сек.)	d (мм)	a (см/сек.)	d (мм)	a (см/сек.)	d (мм)	a (см/сек.)	d (мм)	a (см/сек.)
1,5—2,0	0,1	1,0	0,10	—	—	1,25	0,002	0,961	0,106
1,0—1,5	0,1	0,75	0,0883	0,3	0,179	1,0	0,0033	—	—
0,8—1,0	0,1	0,5	0,080	0,2	0,079	0,75	0,0047	—	—
0,6—0,8	0,1	0,4	0,08	0,1	0,020	0,30	0,01	0,509	0,059
		0,3	0,063	0,05	0,0047	0,20	0,0133	—	—
		0,2	0,034	0,03	—	0,10	0,0173	—	—
		0,05	0,0038	0,02	0,0008	0,05	0,01	0,212	0,029
		0,02	0,0006	—	—	0,02	0,003	—	—

Данные этой таблицы представлены на графике (рис. 156). На основании этой зависимости гидравлические крупности и были приведены к одной температуре воды $t=10^\circ \text{C}$. Приведение производилось таким образом по формуле:

$$w_0 = w_t - a(t - 10),$$

где w_0 — гидравлическая крупность при $t=10^\circ \text{C}$ и w_t при температуре воды t , наблюдавшейся в опытах. Это сделано с известным допущением, так как в каждой фракции песка встречаются частицы разных форм. Но учитывая, что частицы пластинчатой формы, для которых коэффициент a значительно отклоняется от полученного его значения для округленных форм, — небольшой процент во фракции, принятое допущение мало

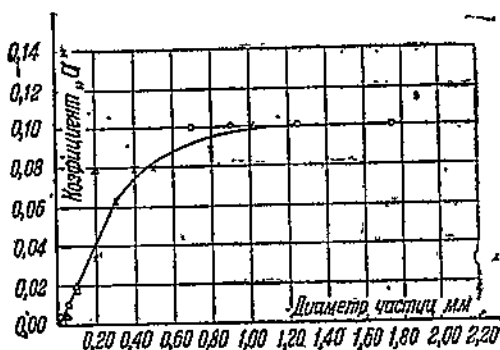


Рис. 156. Зависимость температурного коэффициента a от диаметра частиц.

¹ Исключены: пластинчатая форма ($d=1,0-1,5$) и округленная ($d=2,0-2,5$), как давшие резкое отклонение от общей закономерности. Данные по пластинчатой форме показывают, что форма частиц здесь также играет существенную роль. Широких опытов в этом направлении не проводилось.

отразится на окончательных результатах w_0 для всей фракции в целом.

Чтобы установить гидравлические крупности w_0 всех фракций песка, с которыми были произведены опыты по выпадению их в потоке, нами была произведена сводка опытного материала разных авторов (табл. 39, 40), с приведением w_0 к температуре воды 10°C , согласно вышеуказанной зависимости.

Т а б л и ц а 39

Гидравлические крупности песчинок при $t = 10^\circ \text{C}$
по различным данным (см/сек.)

Диаметры частиц (мм)	Авторы опыта					Наши опыты	
	Стокс	Озсеп	Хазен	Крей	Зегяда $\gamma = 2,67$		
						округлённая форма	для фракций в целом
3,50	—	—	—	30,0	25,0	—	20,08
3,0	—	—	—	27,7	—	—	—
2,75	—	—	—	—	—	—	18,72
2,50	—	—	—	25,4	20,10	—	—
2,25	—	10,34	—	—	—	—	18,04
2,0	—	—	—	22,7	—	—	—
1,75	—	9,09	—	—	—	20,17	—
1,50	—	7,64	—	19,0	15,20	—	—
1,25	—	—	—	—	—	15,05	12,84
1,0	—	6,80	10,0	13,65	—	—	—
0,90	—	—	—	—	—	12,6	11,10
0,85	—	—	—	—	10,91	—	—
0,75	—	5,83	—	—	—	—	—
0,70	—	—	—	10,15	—	10,7	9,47
0,556	—	—	—	—	7,97	—	—
0,50	—	—	5,30	7,64	—	—	—
0,40	—	—	4,20	—	—	—	4,54
0,30	6,18	3,38	3,20	5,01	—	—	—
0,20	2,75	2,51	2,40	3,55	—	—	—
0,10	0,69	1,24	0,80	2,0	—	—	—
0,05	0,17	0,42	0,29	—	—	—	—
0,02	0,028	—	—	—	—	—	—

Так как нами гидравлическая крупность определялась не для всех подопытных фракций, то дополнительные данные по w_0 были взяты для крупных фракций ($>0,5$ мм) путём интерполяции по нашим опытным материалам, для мелких ($<0,3$ мм) как средние по данным Ричардса, Хазена и Озсена.

Окончательно принятые значения w_0 при $t = 10^\circ \text{C}$ для дальнейших расчётов по выпадению песка сведены в таблицу 41.

¹ Данные опытов Зегяда взяты только при температуре воды в 10°C .

Таблица 40

Гидравлическая крупность частиц песка по Ричардсу при $t = 40^\circ \text{C}$

Диаметр частиц (мм)	Гидравлическая крупность (см/сек.)	Диаметр частиц (мм)	Гидравлическая крупность (см/сек.)
3,48	20,6	0,41	3,90
2,84	18,8	0,37	3,95
2,44	16,6	0,306	3,26
2,28	16,37	0,234	2,71
1,85	14,36	0,199	2,31
1,55	12,36	—	—
1,37	11,54	0,156	1,62
1,04	9,45	0,126	1,13
0,91	8,11	0,091	0,548
0,76	7,39	0,069	0,264
0,63	6,45	0,0504	0,15
0,51	5,02	0,021	0,0285

Таблица 41

Принятые значения гидравлической крупности частиц в наших опытах при $t = 40^\circ \text{C}$

Фракции (мм)	Средний диа- метр частиц (мм)	Гидравли- ческая крупность w_0 (см/сек.)	Фракции (мм)	Средний диа- метр частиц (мм)	Гидравли- ческая крупность w_0 (см/сек.)
0,08—0,1	0,09	0,73*	1,0—1,5	1,25	12,8
0,1—0,15	0,125	1,31*	1,5—2,0	1,75	15,5**
0,15—0,25	0,20	2,30*	2,0—2,5	2,25	18,0
0,25—0,30	0,275	3,06*	2,0—3,0	2,50	18,4**
0,30—0,50	0,40	4,54	2,5—3,0	2,75	18,7
0,5—0,8	0,65	8,5**	3,0—4,0	3,50	20,1
0,8—1,0	0,90	11,1			

Все опытные данные нанесены на рисунке 157.

Основные опыты по выпадению песка в турбулентном потоке

Постановка опытов. Для турбулентного потока были использованы два лотка с горизонтальным дном: большой вертикальный лоток длиной в 10 м, шириной в 0,51 м и высотой в 0,90 м и малый вертикальный длиной в 3,70 м, шириной в 0,15 и высотой в 0,54 м.

Проведение опытов в двух лотках имело своей целью установление влияния ширины и глубины потока на выпадение наносов. Стенки обоих лотков были из вертикального стекла. Дно деревянное крашеное, с нанесенной на нём осевой линией и делениями через 20 см. В головной части лотков имелись успокоительные колодцы и решётки, а за ними на протяжении полуметра по всему живому сечению были уло-

* Взяты средние по Ричардсу, Хазену и Осену.

** Принята по интерполяции — по нашей опытной кривой.

жены стеклянные трубки диаметром в 10 мм. В выходной части лотков устанавливались вертикальные спицы с просветами между ними. Размерами просветов можно было создавать потребный горизонт в лотках при постоянном расходе. Эти входные и выходные устройства создавали наиболее однородный режим потока, способствуя более равномерному распределению скоростей как по глубине, так и по ширине его.

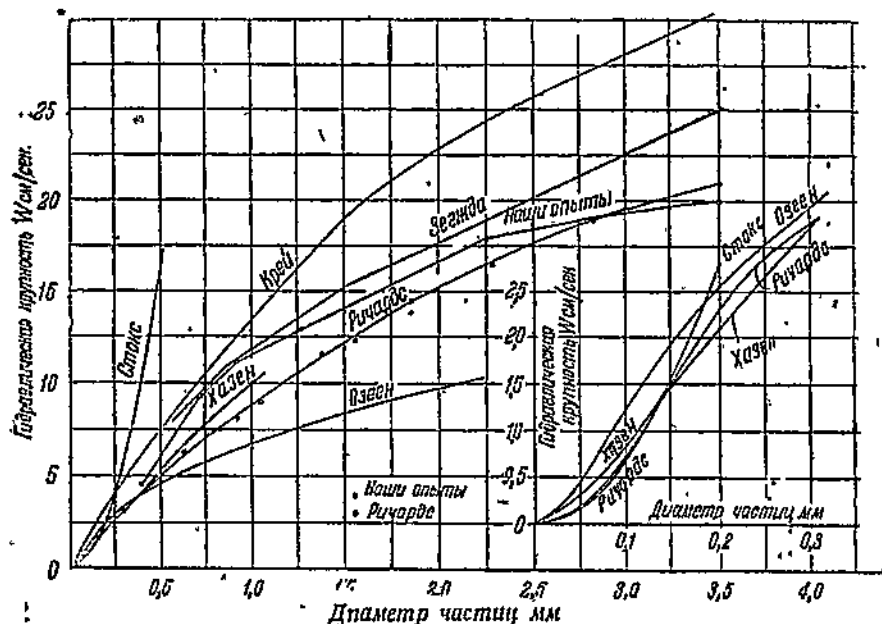


Рис. 157. Зависимость гидравлической крупности песчаных частиц от их диаметра по разным авторам при температуре воды 10° С.

Произведенные измерения скоростей дробкой Пито подтвердили почти полную равномерность скоростей в потоке. Только непосредственно у дна и стенок скорости немного отличались от скоростей в других точках. Минимальные средние скорости потока, при которых проводились опыты, равнялись 4—5 см/сек., максимальные назначались в зависимости от крупности фракции так, чтобы выпавшие наносы не передвигались по дну. Назначение этих предельных скоростей производилось для каждой фракции предварительными опытами. В малом лотке при принятии максимальных скоростей иногда приходилось считаться также с длиной лотка и возможным расходом воды.

Водопроводящая сеть лаборатории давала возможность получать расходы воды при пользовании большим лотком до 60—70 л/сек. и при пользовании малым—до 15—16 л/сек.

Опыты в большом лотке проводились при глубинах в пределах 30—65 см, в малом лотке глубина воды принималась в пределах

от 20 до 40 см, определяемых условиями лаборатории. Пределы изменения глубины считаем вполне достаточными, чтобы обнаружить её влияние, если оно существенно.

Таким образом, числа Рейнольдса для потока колебались в пределах $7 \cdot 10^3 - 10^4$, что характеризует поток как турбулентный.

Вода для опытов бралась из водопровода.

Состав и результаты опытных наблюдений. Основными факторами изучения при проведении данных опытов являлись:

1. Пределы рассеяния песка на дне лотка по длине потока. Рассеяние по ширине не изучалось, хотя это и могло бы иметь некоторое значение для установления влияния турбулентного перемешивания на взвешивание частиц.

В опытах отмечались расстояния L от места пуска песка в поток до характерных границ зон отложений: L' и L'' — начало и конец отложений песка на дне и $L_{\min}$ и $L_{\max}$ — начало и конец зоны массового выпадения, за пределами которой остаётся ничтожное количество песчинок, нехарактерных для данной фракции.

2. Характер отложений песка, определяемый взятием проб со дна. Пробы брались через некоторые промежутки, в зависимости от длины зоны рассеивания, а в ряде опытов собирался весь отложившийся песок по интервалам в 5 см, на которые разбивалась вся зона выпадения песка.

Таким образом представлялась возможность характеризовать с количественной стороны форму отложений песка по весу.

Результаты наблюдений по зонам отложений для различных фракций песка сведены в таблицу 42. При этом в таблице приводятся только значения $L_{\min}$ и $L_{\max}$, поскольку L' и L'' не имеют практического значения.

Одновременно в этой таблице приводятся значения длины зоны массового выпадения $l = L_{\max} - L_{\min}$. На основе опытных материалов произведено определение коэффициентов α и β для $L_{\max}$, которые учитывают по-разному влияние турбулентности потока на величину выноса частиц.

Если считать, что частицы в потоке падают со скоростью, равной гидравлической крупности их w_0 , то в обычную формулу длины отстойника, определяемую по $L_{\max}$, необходимо ввести поправочный коэффициент α :

$$L_{\max} = \alpha H \frac{v}{w_0}. \quad (52)$$

Если принять, что в потоке существует некоторая средняя взвешивающая скорость u , пропорциональная средней скорости потока и выражаемая в виде $u = \beta v$, то скорость падения частиц в потоке будет равна $w_n = w_0 - \beta v$; тогда

$$L_{\max} = H \frac{v}{w_0 - \beta v}. \quad (53)$$

Таблица 42

Результаты наблюдений по выпадению песка в потоке

Год	№ опыта	Фракция (мм)	Средний диаметр d (мм)	Глубина потока H (см)	Скорость потока v (см/сек.)	Температура воды (°C)	Гидравлическая крупность		$\frac{w}{v}$	Пределы массового выпадения песка (см)		$t = (L_{\max} - L_{\min})$ (см)	$\frac{L_{\max}}{L_{\min}}$
							при 10° C w_0 (см/сек.)	при 1° C w_1 (см/сек.)		$L_{\min}$	$L_{\max}$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1936	59	0,08—0,1	0,09	35,5	4,75	16	0,73	0,84	0,177	60	245	185	6,72
	70	0,08—0,1	0,09	32,0	4,17	19	0,73	0,99	0,237	42	160	118	5,00
	72	0,08—0,1	0,09	25,8	6,00	19	0,73	0,99	0,165	55	190	135	7,35
	74	0,08—0,1	0,09	34,0	6,10	17	0,73	0,86	0,141	118	265	147	7,80
	16	0,10—0,25	0,175	40,0	5,80	19	2,00	2,32	0,400	47,5	150	102,5	3,75
	17	0,10—0,25	0,175	41,0	9,70	19	2,00	2,32	0,239	65	209	144	5,10
	19	0,10—0,25	0,175	28,0	10,00	18	2,00	2,29	0,229	51,5	165,5	114	5,91
	28	0,10—0,25	0,175	40	4,3	18	2,00	2,29	0,533	41,5	113,5	72	2,84
	40	0,15—0,25	0,20	22,0	10,6	19	2,30	2,68	0,253	43,5	91,5	48	4,16
	43	0,15—0,25	0,20	34,5	9,7	18,5	2,30	2,66	0,274	66	187	71	3,97
	44	0,15—0,25	0,20	35,0	14,2	19	2,30	2,68	0,190	102,5	210	107,5	5,83
	45	0,15—0,25	0,20	36,0	5,0	19	2,30	2,68	0,537	32	76	44	2,11
	46	0,15—0,25	0,20	36,0	12,2	19	2,30	2,68	0,219	85	180	95	5,00
	47	0,15—0,25	0,20	25,0	12,8	19	2,30	2,68	0,218	54	122	68	4,88
	48	0,15—0,25	0,20	25,0	7,0	19	2,30	2,68	0,383	31	78	47	3,12
1934	40	0,25—0,30	0,275	66,5	5,24	15	3,06	3,35	0,64	41	135	94	2,03
	11	0,25—0,30	0,275	65,3	10,6	15	3,06	3,35	0,316	83	255	172	3,91
	12	0,25—0,30	0,275	64,8	16,4	15	3,06	3,35	0,204	172	360	188	5,57
	13	0,25—0,30	0,275	65,2	18,5	15	3,06	3,35	0,181	195	450	255	6,90
	15	0,25—0,30	0,275	64,8	20,3	15	3,06	3,35	0,165	210	450	240	6,95
	16	0,25—0,30	0,275	45,5	4,57	15	3,06	3,35	0,732	33	92	59	2,02
	18	0,25—0,30	0,275	45,2	15,6	15	3,06	3,35	0,215	110	270	160	5,94
	19	0,25—0,30	0,275	45,7	22,4	15	3,06	3,35	0,149	160	420	260	9,20
	20	0,25—0,30	0,275	45,3	32,5	15	3,06	3,35	0,103	220	500	280	11,00
	21	0,25—0,30	0,275	29,9	7,2	15	3,06	3,35	0,466	38	97	59	3,24
	22	0,25—0,30	0,275	29,8	23,6	15	3,06	3,35	0,142	140	230	120	7,72
	23	0,25—0,30	0,275	29,8	26,3	15	3,06	3,55	0,127	125	275	150	9,23
	24	0,25—0,30	0,275	29,9	30,5	15	3,06	3,35	0,105	140	350	210	11,70
	25	0,25—0,30	0,275	29,2	32,0	15	3,06	3,35	0,104	130	350	220	12,00
	26	0,25—0,30	0,275	29,9	34,0	15	3,06	3,35	0,0985	175	400	225	13,37
	28	0,25—0,30	0,275	64,7	10,4	15	3,66	3,35	0,322	115	240	125	3,71
	29	0,25—0,30	0,275	65,0	12,3	15	3,06	3,35	0,272	140	290	150	4,47
	30	0,25—0,30	0,275	66,2	15,34	15	3,06	3,35	0,218	175	350	175	5,28
	31	0,25—0,30	0,275	66,0	16,95	15	3,06	3,35	0,197	185	350	165	5,31
	32	0,3—0,5	0,4	65,7	6,74	16	4,54	4,99	0,740	34	90	56	1,37
	33	0,3—0,5	0,4	66,2	8,6	16	4,54	4,99	0,580	57	120	63	1,82
	34	0,3—0,5	0,4	66,5	11,87	16	4,54	4,99	0,420	72	165	93	2,48
	37	0,3—0,5	0,4	66,3	17,5	16	4,54	4,99	0,285	125	250	125	3,77
	38	0,3—0,5	0,4	65,7	19,7	16	4,54	4,99	0,253	145	290	145	4,42
	39	0,3—0,5	0,4	45,0	5,7	16	4,54	4,99	0,875	17	65	48	1,44
	40	0,3—0,5	0,4	45,0	8,81	16	4,54	4,99	0,565	36	85	49	1,89
	41	0,3—0,5	0,4	45,0	14,9	16	4,54	4,99	0,335	72	170	98	3,78
	42	0,3—0,5	0,4	45,0	20,6	16	4,54	4,99	0,242	114	246	132	5,47
	43	0,3—0,5	0,4	45,0	28,2	16	4,54	4,99	0,177	150	370	220	8,22
	44	0,3—0,5	0,4	30,0	5,1	16	4,54	4,99	0,980	15	36	21	1,20
	45	0,3—0,5	0,4	30,0	11,0	16	4,54	4,99	0,453	32	81	49	2,70
	46	0,3—0,5	0,4	30,0	20,1	16	4,54	4,99	0,248	62	150	88	5,00

Таблица 42 (продолжение)

Год	№ опыта	Фракция (мм)	Средний диаметр d (мм)	Глубина потока H (см)	Скорость потока v (см/сек.)	Температура воды ($^{\circ}\text{C}$)	Гидравлическая крупность		$\frac{w}{v}$	Пределы массового выщелачивания песка (см)		$l = (L_{\max} - L_{\min})$ (см)	$\frac{L_{\max}}{L}$
							при 10°C v_{10} (см/сек.)	при $t^{\circ}\text{C}$ v_t (см/сек.)		$L_{\min}$	$L_{\max}$		
1936	47	0,3 — 0,5	0,4	30,0	28,8	16	4,54	4,99	0,173	104	225	121	7,50
	48	0,3 — 0,5	0,4	30,0	33,9	16	4,54	4,99	0,147	110	240	130	8,00
	49	0,3 — 0,5	0,4	64,0	6,5	16	4,54	4,99	0,766	39	91	52	1,42
	49-a	0,3 — 0,5	0,4	65,2	6,52	16	4,54	4,99	0,765	39	92	53	1,41
	50	0,3 — 0,5	0,4	65,1	9,3	16	4,54	4,99	0,537	57	137	80	2,40
	52	0,3 — 0,5	0,4	65,1	13,9	16	4,54	4,99	0,358	110	195	85	3,00
	53	0,3 — 0,5	0,4	64,6	17,8	16	4,54	4,99	0,280	122	250	128	3,87
	54	0,3 — 0,5	0,4	45,3	5,93	16	4,54	4,99	0,840	27	65	38	1,43
	55	0,3 — 0,5	0,4	45,5	10,13	16	4,54	4,99	0,492	39	95	56	2,09
	56	0,3 — 0,5	0,4	45,1	12,78	16	4,54	4,99	0,390	58	135	77	2,99
	57	0,3 — 0,5	0,4	44,6	17,0	16	4,54	4,99	0,293	91	180	89	4,04
	58	0,3 — 0,5	0,4	45,4	21,0	16	4,54	4,99	0,237	90	220	130	4,85
	60	0,3 — 0,5	0,4	30,3	5,71	16	4,54	4,99	0,873	17	40	23	1,32
	61	0,3 — 0,5	0,4	29,9	13,9	16	4,54	4,99	0,359	44	100	56	3,35
	62	0,3 — 0,5	0,4	30,4	20,2	16	4,54	4,99	0,246	70	155	85	5,40
	63	0,3 — 0,5	0,4	30,1	24,1	16	4,54	4,99	0,207	78	160	87	5,32
	65	0,3 — 0,5	0,4	30,1	29,9	16	4,54	4,99	0,167	113	232	119	7,72
	20	0,5 — 0,8	0,65	27	6,4	18	8,50	9,24	1,44	45	34	19	1,26
	21	0,5 — 0,8	0,65	28	10,7	18	8,50	9,24	0,864	25,5	53	27,5	1,89
	22	0,5 — 0,8	0,65	28	13,8	18	8,50	9,24	0,670	32	67,5	35,5	2,44
	23	0,5 — 0,8	0,65	28	18,1	18	8,50	9,24	0,512	42	87	45	3,11
	24	0,5 — 0,8	0,65	40	7,0	18	8,50	9,24	1,32	23,5	53	29,5	1,32
	25	0,5 — 0,8	0,65	40	10,0	18	8,50	9,24	0,924	34	67	38	1,68
	26	0,5 — 0,8	0,65	40	15,0	18	8,50	9,24	0,616	54	102	48	2,56
	27	0,5 — 0,8	0,65	40	17,8	18	8,50	9,24	0,520	66	116	50	2,90
	10	0,8 — 1,0	0,9	27	10,0	17	11,1	11,79	1,18	49	42,5	23,5	1,57
	11	0,8 — 1,0	0,9	28	14,3	17	11,1	11,79	0,824	27	57,5	30,5	2,05
	12	0,8 — 1,0	0,9	27	7,4	17	11,1	11,79	1,59	13	33	20	1,22
	13	0,8 — 1,0	0,9	41	14,7	17	11,1	11,79	0,82	41	80	39	1,95
	14	0,8 — 1,0	0,9	40	10,0	17	11,1	11,79	1,18	26	57	31	1,42
	15	0,8 — 1,0	0,9	40	7,0	19	11,1	11,99	1,71	19	41,5	22,5	1,04
1937	91	1,0 — 1,5	1,25	37,5	22,6	15	12,8	13,3	0,59	49	92,5	43,5	2,47
	92	1,0 — 1,5	1,25	39	20	15	12,8	13,3	0,67	45	82	37	2,40
	93	1,0 — 1,5	1,25	39	16,6	14,5	12,8	13,25	0,80	36,5	69	32,5	1,77
	94	1,0 — 1,5	1,25	39	13,5	14,5	12,8	13,25	0,98	29,5	56	26,5	1,43
	95	1,0 — 1,5	1,25	39	10,7	14,5	12,8	13,25	1,24	23	46	23	1,18
	101	1,0 — 0,5	1,25	65,5	6,2	14,5	12,8	13,25	2,15	11	43	32	0,656
	102	1,0 — 1,5	1,25	65,1	9,3	14,5	12,8	13,25	1,43	27	59	32	0,91
	103	1,0 — 1,5	1,25	65,5	11,9	14,5	12,8	13,25	1,12	34	80	46	1,22
	104	1,0 — 1,5	1,25	64,8	16	14,5	12,8	13,25	0,83	44	99	55	1,53
	105	1,0 — 1,5	1,25	65	19,4	14,5	12,8	13,25	0,69	54	118	64	1,82
	106	1,0 — 1,5	1,25	45,1	6,97	14,5	12,8	13,25	1,97	11	32	21	0,71
	107	1,0 — 1,5	1,25	45,3	9,34	14,5	12,8	13,25	1,43	19	45	26	0,99
	108	1,0 — 1,5	1,25	45,8	14,3	14,5	12,8	13,25	0,93	27	62	35	1,85
	109	1,0 — 1,5	1,25	45,3	19,3	14,5	12,8	13,25	0,69	39	85	46	1,87
	110	1,0 — 1,5	1,25	45,1	24,8	14,5	12,8	13,25	0,547	47	118	71	2,61
	111	1,0 — 1,5	1,25	45,3	27,1	14,5	12,8	13,25	0,49	56	118	62	2,60
	112	1,0 — 1,5	1,25	30,1	11,6	14,5	12,8	13,3	1,15	15	37	22	1,23

Таблица 42 (продолжение)

Год	№ опыта	Фракция (мм)	Средний диаметр d (мм)	Глубина потока H (см)	Скорость потока v (см/сек.)	Температура воды (°C)	Гидравлическая крупность		$\frac{w_t}{v}$	Пределы массового выпадения песка (см)		$l = (L_{\max} - L_{\min})$ (см)	$\frac{L_{\max}}{H}$
							при 10° C w ₀ (см/сек.)	при t° C w _t (см/сек.)		L _{min}	L _{max}		
1934	113	1,0—1,5	1,25	30,5	16,4	14,5	12,8	13,3	0,81	23	49	26	4,61
	114	1,0—1,5	1,25	30,1	22,8	14,5	12,8	13,3	0,583	30	67	37	2,22
	115	1,0—1,5	1,25	30	31,8	14,5	12,8	13,3	0,418	43	96	53	3,20
	116	1,0—1,5	1,25	30,4	34,7	14,5	12,8	13,3	0,384	48	106	58	3,50
	117	1,0—1,5	1,25	30,5	37,5	14,5	12,8	13,3	0,355	52	115	63	3,78
1936	1	1,5—2,0	1,75	37	14,4	16,5	15,5	16,15	1,12	25	50	25	1,35
	2	1,5—2,0	1,75	37	18,6	17,5	15,5	16,20	0,872	35,5	68	32,5	1,84
	4	1,5—2,0	1,75	40	10	17,5	15,5	16,25	1,63	18	44,5	26,5	1,11
	5	1,5—2,0	1,75	40	8	17,5	15,5	16,25	2,03	14,5	36	21,5	0,90
	6	1,5—2,0	1,75	27	20	17,5	15,5	16,25	0,813	27	57	30	2,11
	7	1,5—2,0	1,75	27	15	17,5	15,5	16,25	1,08	20	46	26	1,70
	8	1,5—2,0	1,75	27	10	17,5	15,5	16,25	1,63	12	31	19	1,15
	9	1,5—2,0	1,75	27	8	18	15,5	16,30	2,04	10	27	17	1,00
	41	1,5—2,0	1,75	22	23,9	18	15,5	16,30	0,683	25	47,5	22,5	2,16
1936	42	1,5—2,0	1,75	33	21,4	18	15,5	16,30	0,762	30	70	40	2,12
	31	2,0—2,5	2,25	20,7	16,1	18	18,0	18,80	1,17	13,5	36,5	23	1,76
	32	2,0—2,5	2,25	22	23,9	18	18,0	18,80	0,787	21,5	46,5	25	2,11
	33	2,0—2,5	2,25	22	20,8	17	18,0	18,70	0,920	19	46,5	27,5	2,11
	34	2,0—2,5	2,25	36,5	9,9	17,5	18,0	18,75	1,90	13,5	36	22,5	0,985
	35	2,0—2,5	2,25	36	15	17,5	18,0	18,75	1,25	23	51,5	28,5	1,43
	36	2,0—2,5	2,25	36	20	19	18,0	18,90	0,944	30	62	32	1,72
	37	2,0—2,5	2,25	33	24,2	19	18,0	18,90	0,780	33,5	72,5	39	2,20
	38	2,0—2,5	2,25	27,5	29	19	18,0	18,90	0,652	33	67,5	34,5	2,45
1934	39	2,0—2,5	2,25	22	29	19	18,0	18,90	0,652	26	57	31	2,59
	67	2,5—3,0	2,75	65,7	6,77	15	18,7	19,20	2,83	46	40	24	0,608
	68	2,5—3,0	2,75	64,3	10,9	15	18,7	19,20	1,75	25	61	36	0,95
	69	2,5—3,0	2,75	65	14,5	15	18,7	19,20	1,32	36	83	47	1,28
	70	2,5—3,0	2,75	65,3	17,5	15	18,7	19,20	1,09	44	98	54	1,50
	71	2,5—3,0	2,75	65,2	19,2	15	18,7	19,20	1,00	46	102	56	1,56
	72	2,5—3,0	2,75	45,1	9,7	15	18,7	19,20	1,97	15	39	24	0,865
	74	2,5—3,0	2,75	45,4	13,00	15	18,7	19,20	1,47	20	52	32	1,14
	75	2,5—3,0	2,75	45,4	17,8	15	18,7	19,20	1,07	28	70	42	1,54
1936	76	2,5—3,0	2,75	45,4	22,9	15	18,7	19,20	0,840	37	92	55	2,02
	77	2,5—3,0	2,75	45,1	27,8	15	18,7	19,20	0,692	47	107,5	60,5	2,30
	79	2,5—3,0	2,75	30,1	45,1	15	18,7	19,20	1,27	46	41	25	1,360
	80	2,5—3,0	2,75	30,4	20,9	15	18,7	19,20	0,32	22	53	31	1,74
	81	2,5—3,0	2,75	30,4	28,5	15	18,7	19,20	0,675	30	71	41	2,33
	82	2,5—3,0	2,75	30,3	35,2	15	18,7	19,20	0,546	40	86	46	2,84
	60	2,5—3,0	2,75	36,0	23,5	17	18,7	19,40	0,826	29	62	33	1,72
	61	2,5—3,0	2,75	30,0	28,2	17	18,7	19,40	0,688	29	64	35	2,13
	62	2,5—3,0	2,75	40,5	20,9	13,5	18,7	19,05	0,912	29	66	37	1,63
	63	2,5—3,0	2,75	39,5	15,2	13	18,7	19,00	1,250	19,5	48	28,5	1,21
	64	2,5—3,0	2,75	24,5	29,1	14,5	18,7	19,25	0,662	24,5	55	30,5	2,24
	65	2,5—3,0	2,75	22,0	27	16	18,7	19,30	0,715	18,5	41	22,5	1,86
	66	2,5—3,0	2,75	24,5	24,2	16,5	18,7	19,35	0,800	17	41	24	1,67
	67	2,5—3,0	2,75	23,5	20,7	17	18,7	19,40	0,938	15	33	18	1,40
	68	2,5—3,0	2,75	24,5	15	17,5	18,7	19,45	1,11	9,5	26	16,5	1,06
	69	2,5—3,0	2,75	32,5	26	17,5	18,7	19,45	0,748	31	59	28	1,82

На основании этих формул и определены коэффициенты α и β для $L_{\max}$.

Так как здесь $L_{\max}$ одно и то же, то, приравнивая правые части выражений, получим связь между α и β :

$$\alpha = \frac{d}{1 - \beta \frac{v}{w_0}}$$

$$\beta = \frac{\alpha - 1}{\alpha} \frac{w_0}{v}$$

Полученная формула для α приводится ниже. По ней может быть получено и значение β .

Сортировка взятых проб по формам частиц с установлением их веса и процентного содержания была произведена не для всех опытов, в виду большой трудоёмкости этих работ. Для сортировки по формам были взяты по одному-два опыта с фракциями 0,5—0,8 мм; 0,8—1,0; 1,5—2,0; 2,0—2,5; всего обработано таким образом 6 опытов.

Результаты подобной обработки опытов сведены в таблицы, которые позволяют характеризовать отложение песка по изменению веса частиц по длине зоны рассеяния их как по отдельным формам, так и для фракции в целом (табл. 43)¹.

Коэффициент α . Приведённые опытные данные в таблице 42 по $L_{\max}$ для различных условий опыта и разных фракций были подвергнуты математической обработке.

Опытные наблюдения за падением песка позволяли установить среднюю линию их падения.

При равномерном распределении скоростей по вертикали, что и имело место в наших опытах, осреднённой траекторией являлась прямая линия, наклонённая к горизонту под некоторым углом, определяемым отношением $\frac{L}{H}$.

Так как нас интересует наименьшее значение этого угла, то мы брали отношение $\frac{L_{\max}}{H}$. Угол наклона линии падения для данной фракции ($w = \text{const}$) зависит только от скорости течения: чем больше v , тем дальше частица будет вынесена и тем меньше угол наклона линии падения к горизонту.

Нанесение на графики данных опыта по $\frac{L_{\max}}{H}$ и v для отдельных фракций позволило установить прямолинейную зависимость (рис. 158). Поэтому в дальнейшем нами и была произведена математическая обработка данных по отдельным фракциям. Вычислялись прямолинейные зависимости вида

$$\frac{L_{\max}}{H} = av - b, \quad (58)$$

¹ Для характеристики приводится только одна таблица из-за недостатка места.

№ опы- тов	Рассто- яние от начала падения x (см)	Вес пробы (г)	Распределение навески по формам (г)				Распределение фор	
			округ- лённый	удли- нённый	много- гранная	пла- стинчатая	округ- лённый	удли- нённый
Фракция								
22	35	2,8920	0,7530	0,1720	1,9600	0,0070	26,04	5,95
	41	0,7800	0,0450	0,0510	0,6800	0,0040	5,77	6,54
	41	0,4232	0,0200	0,0460	0,3520	0,0052	4,73	10,86
	46,5	0,8530	0,0056	0,0206	0,3220	0,0048	1,59	5,84
	52	0,3455	0,0050	0,0261	0,3112	0,0032	1,45	7,55
	59	0,4604	0,0010	0,0282	0,4082	0,0230	0,21	6,13
	67—	0,2828	—	0,0136	0,2280	0,0412	—	4,81
	—95							

Примечание. Из второй пробы ($x = 41$) взято было две навески для

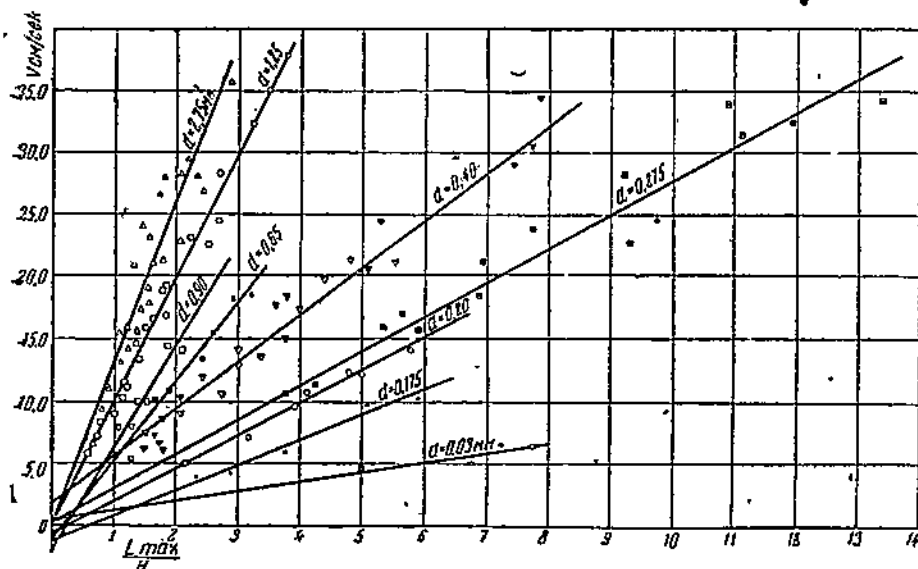


Рис. 158. Зависимость $\frac{L_{\max}}{H} = f(v)$ для разных фракций песка, отнесенных к среднему диаметру частиц.

Полученные для отдельных фракций значения a и b сведены в таблицу 44.

На основании данных этой таблицы построена графическая зависимость коэффициента a от гидравлической крупности фракций w ,

навески по мам (%)		Количество песчинок каж- дой формы в навеске				Вес одной песчинки (г)			
много- гран- ная	пластин- чатая	округ- лённая	удли- нен- ная	много- гран- ная	пла- стин- чатая	округ- лённая	удли- ненная	много- гранная	пла- стинчатая
0,3—0,8 мм									
67,77	0,24	620	158	2568	42	0,0012	0,0011	0,0008	0,0006
87,18	0,51	406	94	1698	16	0,0044	0,0005	0,0004	0,0003
88,18	1,22	40	69	721	14	0,0005	0,0007	0,0005	0,0004
91,21	1,86	16	41	897	12	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
90,7	0,93	17	71	1118	11	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
88,66	5,00	6	90	4467	89	0,0002	0,0002	0,0003	0,0003
80,62	14,57	—	55	1305	205	—	0,0002	0,0002	0,0002

сортировки по формам.

(рис. 159). Зависимость гиперболического вида. Поэтому для упрощения получения уравнения связи была построена зависимость

$$\frac{1}{a} = f(w_i).$$

В этом случае она получилась прямолинейная (рис. 159).

Таблица 44

Параметры a и b в уравнении связи $\frac{L_{\max}}{H} = av - b$ для разных фракций песка

Диаметр фракции (мм)	Средняя w_i (см/сек.)	a	b	Диаметр фракции (мм)	Средняя w_i (см/сек.)	a	b
0,09	0,92	1,39	+0,57	0,900	11,82	0,123	-0,24
0,175	2,30	0,492	-0,73	1,250	13,30	0,1007	-0,01
0,200	2,67	0,389	-0,20	1,750	16,25	0,087	-0,24
0,275	3,35	0,378	+0,19	2,250	18,80	0,0806	-0,25
0,400	4,99	0,268	+0,44	2,750	19,20	0,077	-0,04
0,650	9,24	0,156	-0,22	Среднее -0,086			

Уравнение связи получили в виде:

$$w_i = 1,52 \frac{1}{a} - 0,75.$$

Отсюда имеем:

$$a = \frac{1,52}{w_t + 0,75}.$$

Параметр b не имеет закономерной связи с диаметром фракций. Теоретическое его значение должно быть $b=0$.

Но так как наблюдается разброс песчинок даже при $v=0$ и имеется известная неточность в установлении предела $L_{\max}$, то фактически b получилось не равным 0.

В среднем для всех фракций $b = -0,066$.

Подставляя полученные значения a и b в уравнение

$$\frac{L_{\max}}{H} = f(v),$$

будем иметь:

$$\frac{L_{\max}}{H} = 1,5 \frac{v}{w_t + 0,75} + 0,07.$$

Приравняв выражение $L_{\max}$ обычно к применяемому выражению с коэффициентом α , найдём выражение для α :

$$\frac{1,5Hv}{w_t + 0,75} + 0,07H = \alpha H \frac{v}{w_t}.$$

Рис. 159. Зависимости коэффициента α от средней гидравлической крупности w_t (в уравнении связи $\frac{L_{\max}}{H} = av - b$).

Отсюда

$$\alpha = \frac{1,5w_t}{w_t + 0,75} + 0,07 \frac{w_t}{v} \quad (54)$$

при w_t в см/сек.

При относительно малых значениях отношения $\left(\frac{w_t}{v}\right)$ вторым слагаемым можно пренебречь.

Очевидно, что α не может быть меньше 1. При весьма малых значениях w_t коэффициент α будет стремиться к единице. Данная формула эмпирическая, её не следует применять для предельных значений величин w_t и v (стремящихся к 0), поскольку, например, при весьма малом v вступают в силу другие факторы, обуславливающие значительное рассеивание частиц даже при $v=0$.

Исследованиями по золоотстойникам с весьма мелкими фракциями золы, проводимыми кафедрой использования водной энергии (МГМИ), подтверждается значение $\alpha \approx 1$ при весьма малых скоростях течения, когда практически падение частиц можно считать как в спокойной воде¹. Полученная формула для α является лишь

¹ См. отчёты по опытам на моделях с золоотстойниками Сталингорской ГРЭС и Ярославской ТЭЦ (архив МГМИ).

обобщающим коррективом для последующих выводов по теории расчёта, рассматриваемой ниже.

Для представления о величине коэффициента α , приводим ниже таблицу 45 со значениями его для равных w_i при отбрасывании второго члена формулы.

Т а б л и ц а 45

d (мм)	w_i (см/сек.)	α	d (мм)	w_i (см/сек.)	α
0,28	3,0	1,18	1,65	15,0	1,43
0,48	5,0	1,29	—	∞	1,5
0,75	10,0	1,39	—	—	—

Для имеющих практическое значение крупностей (до $w_i \infty$ $\approx 5-7$ см/сек.) α достигает величины 1,35. Полученные значения α предусматривают и соответствующие скорости потока в отстойниках, обеспечивающие выпадение частиц. В опытах эти скорости всегда были меньше размывающих, что весьма важно иметь также и для отстойников.

Значение коэффициента α для естественных песков может быть получено и на основании результатов опытов с точными формами частиц. Пусть в рассматриваемой фракции песка имеются частицы с гидравлической крупностью в пределах $w_{\min} - w_{\max}$. Частицы с наименьшей гидравлической крупностью ($w_{\min}$) выпадут с поверхности потока глубиной H в зоне второй (рис. 160), частицы с наибольшей гидравлической крупностью ($w_{\max}$) выпадут в зоне первой. Все остальные частицы выпадут в пределах, ограничиваемых крайними точками этих двух зон, т. е. на участке $l = L_{\max} - L_{\min}$. Вершины поверхностей отложений первой и второй зон определятся из выражений:

$$L'_{\text{ср}} = H \frac{v}{w_{\min}}$$

$$L'_{\text{ср}} = H \frac{v}{w_{\max}}$$

согласно опытам с точными формами частиц. Применяя и здесь правило о трёх сигмах (3σ), можем получить пределы выпадения данной фракции песка в целом — $L_{\max}$ и $L_{\min}$:

$$L_{\max} = L'_{\text{ср}} + 3\sigma = H \frac{v}{w_{\min}} + 3 \cdot 0,06 H \frac{v}{w_{\min}} = 1,18 H \frac{v}{w_{\min}}$$

$$L_{\min} = L'_{\text{ср}} - 3\sigma = H \frac{v}{w_{\max}} - 3 \cdot 0,06 H \frac{v}{w_{\max}} = 0,82 H \frac{v}{w_{\max}}$$

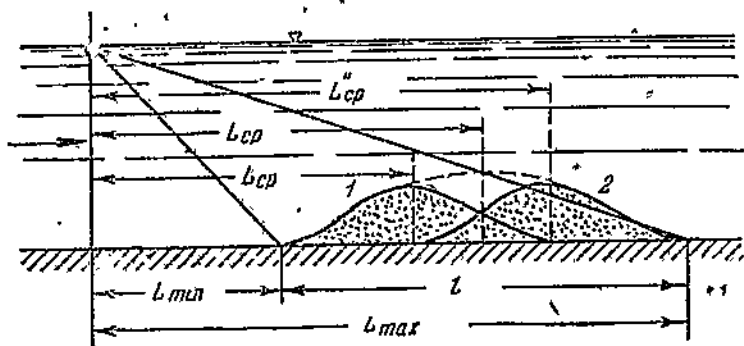
Здесь средние квадратичные отклонения σ берутся для соответственной гидравлической крупности $w_{\min}$ и $w_{\max}$. Таким образом, длина зоны рассеивания фракции песка l будет равна:

$$l = L_{\max} - L_{\min} = \left(\frac{1,18}{w_{\min}} - \frac{0,82}{w_{\max}} \right) H v. \quad (55)$$

Расстояние до середины зоны выпадения L_{cp} (рис. 160) будет:

$$L_{cp} = \frac{L_{max} + L_{min}}{2};$$

L_{cp} нельзя определять по $w_{cp} = \frac{w_{max} + w_{min}}{2}$; при большом диапазоне гидравлических крупностей w_{max} и w_{min} в данной фракции это приведёт к существенной расхожимости результатов.



1. Кривые распределения для частиц с $w = w_{max}$

2. Кривые распределения для частиц с $w = w_{min}$

Рис. 160. Теоретическая схема выпадения отдельной фракции песка, имеющей диапазон гидравлических крупностей w_{max} и w_{min} .

Дальность предела выпадения расчётной фракции L_{max} , определяемая по средней арифметической крупности частиц $w_{cp} = \frac{w_{max} + w_{min}}{2}$, как обычно считают, будет

$$L_{max} = 1,48 H \frac{v}{w_{min}} = 1,48 \frac{w_{max} + w_{min}}{2w_{min}} H \frac{v}{w_{cp}}$$

или

$$L_{max} = 0,59 \left(1 + \frac{w_{max}}{w_{min}} \right) H \frac{v}{w_{cp}} = \alpha H \frac{v}{w_{cp}}$$

Следовательно, значение коэффициента α для фракций песка заданного диапазона крупностей будет:

$$\alpha = 0,59 \left(1 + \frac{w_{max}}{w_{min}} \right), \quad (56)$$

т. е. α является функцией пределов отдельных фракций, на которые сортируются наносы при механическом анализе; чем больше

диапазон пределов крупностей (или диаметров сит), тем больше будет α .

При проектировке можно $w_{\min}$ и $w_{\max}$ брать как некоторые средние величины из ряда измерений гидравлической крупности частиц во взятой пробе данной фракции для гарантии против случайных частиц в ней.

Для сравнения результатов, получаемых по двум формулам для α (54, 56), приводится ниже таблица 46, где $w_{\min}$ и $w_{\max}$ для фракций приняты по таблице 31.

Таблица 46

Фракции (мм)	$w_{\min}$ (см/сек.)	$w_{\max}$ (см/сек.)	$w_{\text{ср}}$ (см/сек.)	$w_{\max}$ $w_{\min}$	по формуле 56	по формуле 54
0,3—0,5	4,70	5,40	5,05	1,15	1,251	1,31
0,5—0,8	9,75	11,10	10,42	1,14	1,246	1,40
0,8—1,0	8,77	12,54	10,66	1,43	1,369	1,40
1,0—1,5	9,65	14,80	12,22	1,53	1,408	1,445
2,0—2,5	12,33	21,41	16,87	1,74	1,484	1,495
2,5—3,0	13,05	22,11	17,58	1,69	1,470	1,437

Изменение α по последней формуле несколько более интенсивное с ростом диаметра фракций, чем по опытной. Несомненно, формула (56) правильнее выражает предел выпадения фракций; формула же (54) может служить лишь коррективом для формулы (56); поскольку она оформляет лишь ограниченный опытный материал и не учитывает совершенно диапазона гидравлических крупностей в отдельных фракциях. Применимость её ограничивается опытными условиями.

Зона рассеивания песка. Величина зоны рассеивания песка l , подобно тому, как это сделано при обработке опытов с шариками и пластинками, получена в функции от H , v и w .

При этом возможности для переноса в натуру нами брались отношение длины зоны рассеивания к глубине потока $\left(\frac{l}{H}\right)$, поскольку при постоянных v и w длина её будет пропорциональна H .

Так как теоретически при $w = \text{const}$ отношение $\frac{l}{H}$ будет только функцией скорости, то нами сначала были построены графические зависимости $\frac{l}{H} = f(v)$, которые позволили сделать вывод о наличии прямолинейной связи между рассматриваемыми величинами для каждой фракции песка.

Во всех случаях уравнения регрессии получились со свободным членом, что объясняется наличием рассеяния даже при выпадении в спокойной воде.

Результаты по установлению параметров a и b в уравнениях регрессии сведены в таблицу 47; из которой видно, что коэффициенты

* В формуле (54) был отброшен второй член.

a меняется закономерно вместе с диаметром фракций песка, а величина b не даёт закономерности. Поэтому нами была построена графическая зависимость $a = f(w_t)$, а величина b принята средняя из полученных значений. Зависимость $a = f(w_t)$ получается гиперболической. Поэтому в дальнейшем, чтобы облегчить отыскание уравнения связи, построена зависимость $\frac{1}{a} = f(w_t)$, которая должна дать прямую линию, что и получили в действительности (рис. 161).

Уравнение этой прямой:

$$\frac{1}{a} = 1,674 w_t + 0,14.$$

Таблица 47

Параметры a и b в уравнениях связи $\frac{l}{H} = f(v)$ для отдельных фракций

d (мм)	w_t (см/сек.)	a	$\frac{1}{a}$	b
0,09	0,92	0,358	2,79	2,895
0,175	2,30	0,32	3,13	0,65
0,20	2,67	0,18	5,56	0,39
0,275	3,35	0,209	4,78	0,00
0,40	4,99	0,116	8,64	0,234
0,65	9,24	0,064	15,62	0,28
0,90	11,82	0,05	20,0	0,303
0,25	13,30	0,0485	20,6	0,11
1,75	16,25	0,0354	28,3	0,31
2,25	18,80	0,0312	32,0	0,425
2,75	19,20	0,0378	26,4	0,14
				Среднее $b = 0,53$

Отсюда

$$a = \frac{1}{1,674 w_t + 0,14}.$$

А уравнение связи $\frac{l}{H} = f\left(\frac{v}{w_t}\right)$ будет:

$$\frac{l}{H} = av + b = \frac{v}{1,674 w_t + 0,14} + b,$$

где $b = 0,53$, как среднее из вычисленных для всех фракций.

Если отбросить значение b для диаметра 0,09 мм, как преувеличенное, то среднее значение b получится равным 0,29, которое в дальнейшем и примем.

Свободный член в знаменателе (0,14) и второе слагаемое (0,29) получились для скоростей в сантиметрах.

Таким образом, величина зоны рассеивания l получается равной для H в сантиметрах:

$$l = \frac{vH}{1,674 w_t + 0,14} + 0,29 H. \quad (57)$$

Отсюда может быть получена величина среднего квадратичного отклонения σ , если допустить, что и в данном случае, как и в опытах с точными формами частиц, $l = 6\sigma$:

$$\sigma = \frac{l}{6} = \frac{vH}{10,04 w_t + 0,84} + 0,048 H.$$

Форма поверхности отложений наносов

Форму поверхности отложений наносов необходимо строить по отдельным фракциям, поскольку состав наносов случаен.

Если бы фракция состояла из частиц с абсолютно одинаковыми гидравлическими крупностями, то элементарная поверхность отложений её при выпадении из полосы высотой ΔH могла бы быть принята по кривой Гаусса.

Так как по составу каждая фракция представляет собой смесь частиц с достаточно разнообразными гидравлическими крупностями, то для построения поверхности отложений её при выпадении из элементарной полосы потока необходимо знать детальный состав частиц во фракции по крупностям. Тогда для каждой крупности, характеризующейся определённой гидравлической величиной w_0 , можно построить элементарные поверхности отложений по кривым Гаусса. Суммируя эти отдельные площади отложений, получим общую поверхность данной фракции. Поскольку, из-за чрезвычайной сложности гидрометрических работ по анализу наносов, так поставить задачу нельзя, нами для дальнейшего развития теории принимаются, с известным допущением, для поверхности отложений отдельных фракций, кривые Гаусса, т. е. и в данном случае принимается закон нормального распределения.

В действительности элементарная кривая поверхности отложений

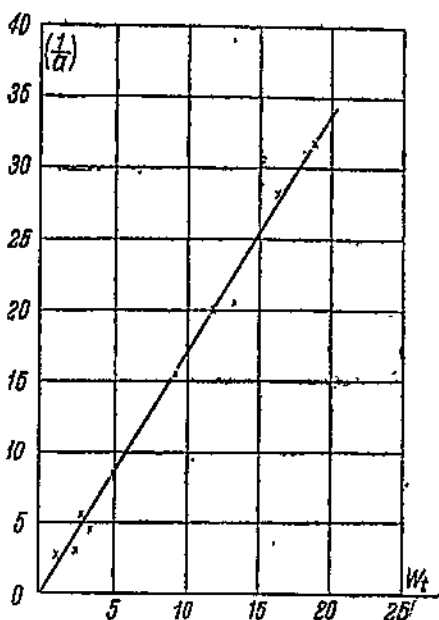


Рис. 161. Зависимость коэффициента α от средней гидравлической крупности (в уравнении связи $\frac{l}{H} = \alpha w - b$).

отдельной фракции, даже при равномерном составе фракции, по крупности частиц в её пределах будет иметь некоторую асимметрию, вследствие уменьшения зоны рассеивания l более крупных частиц во фракции, определяемой выражением:

$$l = 6\sigma = 0,36H \frac{v}{w_0};$$

Асимметрия будет тем меньше, чем уже предел фракции. Поскольку обычно фракции имеют неравномерный состав частиц (по количеству),

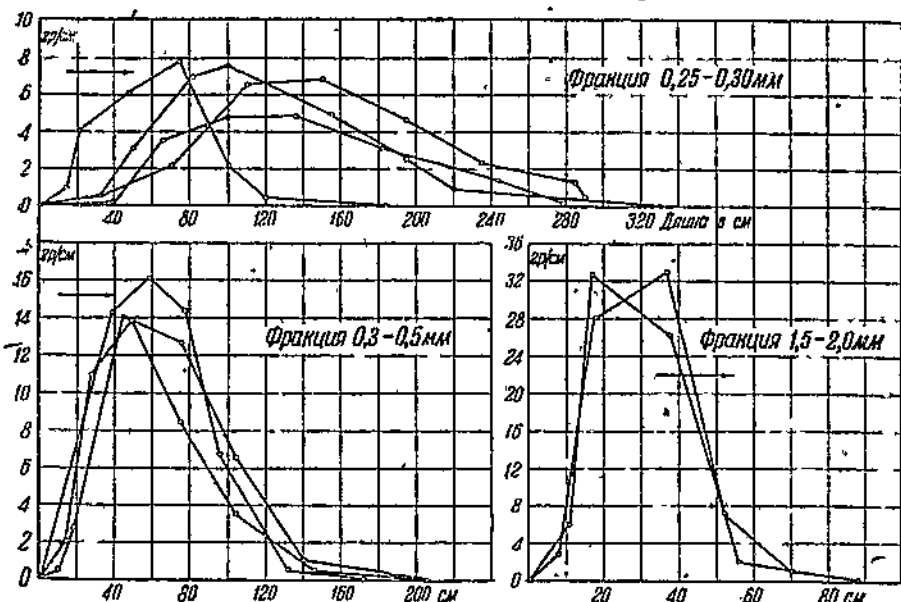


Рис. 162. Характерные кривые отложений отдельных фракций песка при пуске на поверхности потока по опытным данным.

элементарные кривые поверхностей отложений их могут иметь значительную асимметрию, в зависимости от неравномерности состава. При этом асимметрия может быть в обоих направлениях: как вверх, так и вниз по течению. Поэтому принятие нами симметричной кривой есть известное допущение, обусловленное состоянием гидрометрических данных по наносам. Это допущение основывается на фактически наблюдаемых элементарных поверхностях отложений отдельных фракций при пуске их на поверхности потока (рис. 162).

На рисунке 162 приведены характерные кривые отложений для нескольких фракций (в граммах на погонный сантиметр).

Мы рассматривали только зону массового выпадения песка, отбрасывая хвостовые части отложений как не имеющие практического значения¹.

¹ Обоснование приведено выше, в опытных материалах.

При этих условиях асимметрия элементарных кривых отложений фракции не столь значительна, наблюдается даже иногда обратная асимметрия, т. е. когда вершина кривой сдвинута вниз по течению. Принятие симметричной кривой отложений не будет, таким образом, находиться в большом противоречии с опытными данными. Кроме того, как указано ниже, от формы элементарной кривой отложения, в основном, не зависит форма общей поверхности отложений фракции со всей глубины потока, изменяясь лишь в зависимости от неё в хвостовой части в пределах последней по течению элементарной кривой.

Так как общая поверхность отложений отдельных фракций и в целом взвешенных наносов в большой степени зависит от их распределения в потоке по вертикали, а это является мало изученным и достаточно неустойчивым фактором, то нет смысла усложнять вопрос отысканием каждый раз более точной элементарной поверхности отложений, хотя и не трудно по предлагаемой ниже методике произвести необходимые расчёты и построения и при любой другой форме элементарной кривой отложений. Принимая элементарную поверхность отложений по кривой Гаусса, можем получить уравнение её; устанавливая σ —квадратичное отклонение частиц данной фракции от вершины кривой на основании того же правила о 3σ , т. е. полагая длину зоны рассеивания $L = 6\sigma$ (прил. 160).

Если L для фракции принять по формуле 55, то получим выражение для σ в виде:

$$\sigma = \frac{L}{6} = \left(\frac{0,197}{w_{\min}} - \frac{0,197}{w_{\max}} \right) H v. \quad (58)$$

Расстояние от начального сечения до моды (вершины) элементарной кривой отложений a определится как полуусумма:

$$a = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} = L_{\text{ср.}}$$

Здесь $L_{\max}$ и $L_{\min}$ определяются по формулам:

$$L_{\max} = 1,48 H \frac{v}{w_{\min}}$$

$$L_{\min} = 0,82 H \frac{v}{w_{\max}}$$

Чтобы получить поверхность отложений всей фракции в потоке глубиной H , необходимо составить дифференциальное уравнение элементарной поверхности отложений, т. е. для отложений наносов, проходящих в потоке на некоторой глубине H от дна через сечение высотой dH и шириной, равной 1.

При содержании в потоке наносов данной крупности (фракции) — $p_n\%$ по весу и при скорости течения v число прошедших через указанное сечение песчинок за время t секунд будет (рис. 163):

$$N = (1 \cdot dH \cdot v) \cdot \frac{\gamma p_n t}{400 p},$$

где p — вес одной песчинки.

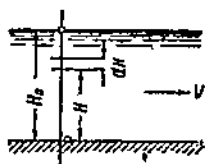


Рис. 163.

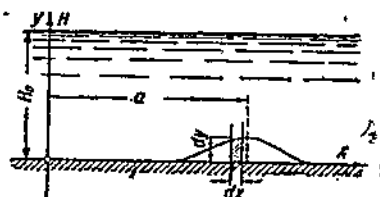


Рис. 164.

Число песчинок y_n , попавших в интервал dx , будет:

$$y_n = W \cdot N \cdot dx,$$

где W — вероятность попадания

$$\text{или} \quad y_n = \frac{N}{\sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx$$

при законе нормального распределения частот.

Ордината кривой поверхности отложений песка dy определится по весу песчинки p и объёмному весу отложений γ_1 (рис. 164):

$$dy = \frac{y_n \cdot p}{\gamma_1 dx \cdot 1} = \frac{Np}{\gamma_1 \sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}.$$

Подставляя значение N , получим:

$$dy = \frac{\gamma p_n v t}{100 \sqrt{2\pi} \gamma_1 \sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \cdot dH. \quad (59)$$

Здесь x , a и σ — функции H и v , а v , в свою очередь, является функцией H . Если H_0 будет переменна по длине отстойника, то и вид этой функции будет изменяться.

Кроме того, по мере отложения песка будет изменяться и глубина, и скорость по времени и по длине отстойника, так как слой отложенный неравномерен по длине. В связи с этим получение общего аналитического решения весьма затруднено. Удобнее в таких случаях переходить к графо-аналитическому методу построения поверхности отложений.

Чтобы упростить аналитическое решение задачи, вполне возможно принять равномерное распределение скорости по вертикали, поскольку в отстойниках шероховатость стенок мала, и при обычно малых скоростях течения она мало отразится на распределении их.

Влияние отложений на изменение глубины и скорости по времени также не будем учитывать, принимая сравнительно короткие промежутки времени.

При непрерывно промываемых отстойниках глубина будет оставаться постоянной. Установление количества выпадающих наносов в разных местах таких отстойников имеет смысл для расчёта промывных устройств.

Тогда σ и a будут только функциями H для данной фракции, а именно:

$$\sigma = \left(\frac{0,197}{w_{\min}} - \frac{0,137}{w_{\max}} \right) Hv = k \cdot H$$

$$a = L_{\text{ср}} = \frac{L_{\max} + L_{\min}}{2} = \left(\frac{0,59}{w_{\min}} + \frac{0,41}{w_{\max}} \right) Hv = n \cdot H,$$

где через k и n обозначены выражения при H , являющиеся постоянными для данной фракции. Обозначая в уравнении 59

$$\frac{\gamma_{\text{пл}} t v}{100 \sqrt{2\pi\gamma_1}} = m,$$

получим его в виде

$$dy = \frac{m}{kH} e^{\frac{-(x-nH)^2}{2k^2H^2}} \cdot dH. \quad (60)$$

Уравнение не интегрируется.

Решение его можно получить графо-аналитическим путем.

Графо-аналитический метод построения поверхности отложений наносов

Глубина и ширина потока постоянны

На основании уравнения 59 можно построить поверхность отложений графическим путём, задаваясь некоторой конечной величиной ΔH .

Если разбить всю глубину потока в начале отстойника на небольшие участки, то с известным приближением можно весь расход наносов, проходящий через площадку $\Delta H \cdot 1$, отнести к центру этой площадки. Тогда получим выпадение из одной точки. Строя по уравнению 59 элементарные кривые отложений из отдельных точек вертикали и суммируя их графически, получим общую поверхность отложений. При достаточно малых значениях ΔH результат будет достаточно точный, причём отрезки ΔH могут быть разной величины по высоте — с приближением ко дну их вообще следует уменьшать,

так как зона рассеивания при меньшей высоте падения сужается и может получиться выпадение в виде отдельно стоящих массивов. Чтобы получить их взаимное перекрытие, необходимо уменьшать ΔH ко дну, соблюдая известное соотношение $\frac{\Delta H}{H}$.

Все детали построения легче уясняются на конкретном примере. Поэтому приведём ниже пример графического построения поверхности отложений наносов.

Пример. Дано:

1. Глубина потока в отстойнике $H_0 = 2,125$ м и сохраняется постоянной по всей длине.

Считаем, что отложения не стесняют живого сечения отстойника, допуская наличие некоторого углубления дна или непрерывное удаление их со дна. В этом случае картина отложений будет условная и может служить для характеристики работы промывных отверстий в разных частях отстойника.

2. Скорость течения в отстойнике $v = 0,30$ м/сек. Считаем её равномерной по вертикали.

3. Наносы считаем равномерно распределёнными по вертикали. Не представит затруднений графическое построение для любого распределения наносов по вертикали, как это будет видно из дальнейшего.

4. Длительность периода отложений наносов принята 6 часов.

Построение поверхностей отложений следует производить по отдельным фракциям. Рассмотрим сначала одну фракцию диаметром в 0,3—0,5 мм при содержании её в потоке $p_n = 0,03\%$ по весу. Удельный вес наносов $\gamma_n = 2,65$. Объёмный вес должен быть назначен с учётом плотности отложений. Он, очевидно, будет разным для разных фракций наносов. Для нашего случая примем его равным $1,470$ т/м³, учитывая, что песок ложится на дно достаточно плотно.

Гидравлическая крупность взятой фракции по нашим опытам характеризуется при разбивке на формы величинами $w_{\min} = 4,7$ см/сек. и $w_{\max} = 5,4$ см/сек. Среднее арифметическое из них w_{cp} получится:

$$w_{cp} = \frac{4,7 + 5,4}{2} = 5,05 \text{ см/сек.}$$

Для установления величин a , т. е. расстояний от начального сечения до моды (вершины) элементарных кривых отложений, берём формулу:

$$a = L_{cp} = \left(\frac{0,59}{w_{\min}} + \frac{0,41}{w_{\max}} \right) H v. \quad (61)$$

Квадратичное отклонение σ нами получено ранее в виде

$$\sigma = \left(\frac{0,197}{w_{\min}} - \frac{0,137}{w_{\max}} \right) H v. \quad (58)$$

о его можно выразить и через коэффициент α и величину a в таком виде

$$\sigma = \frac{\alpha - 1}{3} a. \quad (62)$$

та зависимость даёт достаточную точность лишь при малом диапазоне $w_{\max}$ и $w_{\min}$ в данной фракции¹, когда $L_{\text{ср}}$ можно вычислять о среднем значению гидравлической крупности $w_{\text{ср}}$.

При этом коэффициент α через $w_{\min}$, $w_{\max}$ и $w_{\text{ср}}$ выражается в виде

$$\alpha = \left(1 + \frac{0,59 w_{\text{ср}}}{w_{\min}} - \frac{0,41 w_{\text{ср}}}{w_{\max}} \right). \quad (56a)$$

Вообще же целесообразней вычислять σ по точной формуле (58), тогда α будет для любого диапазона значений w в данной фракции наносов выражаться в виде

$$\alpha = 0,59 \left(1 + \frac{w_{\max}}{w_{\min}} \right). \quad (56)$$

Егоём ширину потока $b = 1$ м, а ΔH сверху равным 0,25 м. Тогда уравнение (59) получим в виде

$$\Delta y = \frac{\gamma_{\text{пл}} t v}{100 \gamma_1 \sqrt{2\pi} \sigma} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} \cdot \Delta H$$

или при $t = 1$ час.

$$\Delta y = \frac{1000 \cdot 0,03 \cdot 3600 \cdot 0,30 \cdot 0,25}{100 \cdot 1470 \cdot \sqrt{2\pi} \sigma} \cdot e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} = 0,022 \frac{1}{\sigma \cdot e^{\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}}.$$

Для нижней части потока, начиная с 0,875 м, примем $\Delta H = 0,10$ м, а ниже 0,275 м $\Delta H = 0,05$ м. Тогда для этих случаев сравнения элементарных кривых отложений будут:

$$\Delta y = 0,0088 \frac{1}{\sigma \cdot e^{\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}} \dots \text{при } \Delta H = 0,10 \text{ м}$$

$$\Delta y = 0,0044 \frac{1}{\sigma \cdot e^{\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}} \dots \text{при } \Delta H = 0,05 \text{ м}$$

Необходимые для вычислений значения некоторых общих выражений

$$\frac{w_{\text{ср}}}{w_{\min}} = 1,074; \quad \frac{w_{\text{ср}}}{w_{\max}} = 0,935; \quad \alpha = 1,251$$

$$\frac{\alpha - 1}{3} = 0,0837 \text{ и } \frac{v}{w_{\text{ср}}} = 5,95.$$

¹ Примерно при отношении $\frac{w_{\max}}{w_{\min}}$ до $-1,25-1,5$.

№ точки	H (м)	$\frac{v}{a \approx H \cdot \frac{v}{w_{cp}}}$ (м)	σ (м)	$\frac{0,022}{\sigma}$	$\frac{0,0088}{\sigma}$	$\frac{0,0044}{\sigma}$	3σ	2σ	Уравнения прямых отклонений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	2,0	11,95	1,0	0,022	—	—	3,0	2,0	$z_1 = 0,022 \cdot e \frac{-(x-11,95)^2}{2}$
2	1,75	10,40	0,87	0,0253	—	—	2,61	1,51	$z_2 = 0,0253 \cdot e \frac{-(x-10,4)^2}{51}$
3	1,50	8,93	0,747	0,0294	—	—	2,24	1,142	$z_3 = 0,0294 \cdot e \frac{-(x-8,93)^2}{1,112}$
4	1,25	7,44	0,622	0,0354	—	—	1,87	0,772	$z_4 = 0,0354 \cdot e \frac{-(x-7,44)^2}{0,772}$
5	1,0	5,95	0,498	0,0442	—	—	1,49	0,496	$z_5 = 0,0442 \cdot e \frac{-(x-5,95)^2}{0,496}$
6	0,825	4,91	0,411	—	0,0214	—	1,23	0,336	$z_6 = 0,0214 \cdot e \frac{-(x-4,91)^2}{0,336}$
7	0,725	4,31	0,360	—	0,0244	—	1,08	0,259	$z_7 = 0,0244 \cdot e \frac{-(x-4,31)^2}{0,259}$
8	0,625	3,72	0,311	—	0,0283	—	0,933	0,193	$z_8 = 0,0283 \cdot e \frac{-(x-3,72)^2}{0,193}$
9	0,525	3,12	0,261	—	0,0337	—	0,783	0,136	$z_9 = 0,0337 \cdot e \frac{-(x-3,12)^2}{0,136}$
10	0,425	2,53	0,211	—	0,0417	—	0,633	0,089	$z_{10} = 0,0417 \cdot e \frac{-(x-2,53)^2}{0,089}$
11	0,325	1,93	0,161	—	0,0547	—	0,483	0,052	$z_{11} = 0,0547 \cdot e \frac{-(x-1,93)^2}{0,052}$
12	0,25	1,486	0,124	—	—	0,0355	0,372	0,0308	$z_{12} = 0,0355 \cdot e \frac{-(x-1,486)^2}{0,0308}$
13	0,20	1,19	0,0996	—	—	0,0442	0,299	0,0198	$z_{13} = 0,0442 \cdot e \frac{-(x-1,19)^2}{0,0198}$
14	0,15	0,893	0,0746	—	—	0,059	0,224	0,0111	$z_{14} = 0,059 \cdot e \frac{-(x-0,893)^2}{0,0111}$
15	0,10	0,595	0,0497	—	—	0,0887	0,149	0,0049	$z_{15} = 0,0887 \cdot e \frac{-(x-0,595)^2}{0,0049}$

Для каждой глубины H (высоты расположения отрезка ΔH над дном) необходимо составить частное уравнение элементарной кривой отложений.

Необходимые вычисления для этого сведены в таблицу 48¹.

По полученным уравнениям необходимо построить элементарные кривые отложений, задаваясь величинами X в пределах соответствующих значений $(a \pm 3\sigma)$.

Ввиду того что принятые кривые симметричны относительно моды, достаточно вычислить координаты для одной ветви кривой, соответствующей значениям x от $(a - 3\sigma)$ до a . В качестве примера приводится таблица 49, в которой даны вычисления кривой для одного и шести часов осаждения наносов.

Таблица 49

Значения координат кривой Δy

x (м)	$(x - a)^2$	$\frac{(x - a)^2}{2\sigma^2}$	$\frac{(x - a)^2}{e^2\sigma^2}$	Для одного часа Δy , (см)	Для шести часов $6\Delta y$ (см)
9,0	8,7	4,35	77	0,0286	0,47
9,5	6,0	3,0	20,03	0,110	0,66
10,0	3,8	1,9	6,72	0,328	1,97
11,0	0,9	0,45	1,57	1,40	8,4
11,95	0	0	1	2,20	13,2

Полученные таким образом кривые нанесены на рисунке 165а, где и произведено суммирование кривых отложений графически.

Как видим, при достаточно малых делениях ΔH можно получить вполне точную картину отложений. При этом ΔH , по мере приближения ко дну, должно уменьшаться, в противном случае форма суммарных отложений будет получаться волнистой. Появление значительных волн и будет определять необходимость перехода к более мелким делениям вертикали. В приводимом примере ΔH изменялось от 0,25 м. вверху до 0,05 м. внизу.

Начиная с глубины 1,25 м (4-я кривая) пришлось перейти к делениям по 0,10 м, так как при делениях в 0,25 м (элементарные кривые 4-я и 5-я) начали появляться значительные волны на суммарной поверхности отложений. При делениях же в 0,10 м волны почти исчезли, и поверхность приобрела вид горизонтальной плоскости. Начиная с глубины 0,425 м при делениях 0,10 м начали вновь появляться волны на поверхности отложений. Необходимо было деления ΔH уменьшить до 0,05, начиная уже с глубины 0,425 м, а ещё ближе ко дну ΔH должно ещё более уменьшиться. Но такой детализировки можно и не делать, поскольку характер отложений и толщина слоя устанавливаются и без этого. Как видим, при равномерном распределении наносов данной фракции по вертикали почти на всём протяжении зоны отложений они ложатся равномерным слоем. Лишь в конце зоны отложений ($L_{\max}$) слой постепенно уменьшается до нуля. Участок этой

¹ Вычисления произведены по приближенной формуле с (62) и а (56а).

концевой части отложений определяется величиной зоны рассеяния частиц, выпадающих с поверхности потока, т. е. величиной $l = 6\sigma$.

При наличии других фракций наносов, распределённых также равномерно по вертикали, характер отложений их будет идентичен полученной картине, но крайний предел отложений ($L_{\max}$) будет изменяться в зависимости от крупности фракций. Поэтому окончательная форма отложений будет криволинейной с возрастанием толщины слоя к началу отстойника. Чтобы получить полную картину отложений, следует провести подобные же построения для всех фракций и затем просуммировать графически отдельные слои отложений.

Для проверки результатов такого построения можно произвести по полученной форме отложений вычисление объёма их и сравнить с общим количеством выпавших наносов. В нашем примере имеем следующее количество выпавших наносов (по объёму) в течение 6 часов:

$$V = \frac{\gamma H_0 v_{\text{пр}} t}{100 \gamma_1} = \frac{1000 \cdot 2,125 \cdot 0,30 \cdot 0,03 \cdot 3600 \cdot 6}{100 \cdot 1470} = 2,80 \text{ м}^3.$$

По подсчёту по площади отложений, полученной графически, имеем практически ту же самую цифру — $2,76 \text{ м}^3$ (рис. 165 а).

Такой метод приводит к довольно длительным вычислениям. Поэтому рассмотрим ниже возможные упрощения. Прежде всего следует отметить, что для получения поверхности отложений для отдельных фракций нет необходимости проводить построение кривых на всём протяжении области выпадения их. Необходимо взять число делений ΔH от поверхности потока лишь достаточное для получения очертания хвостовой части отложений и предельной толщины слоя их: число делений будет зависеть от крупности фракций и от диапазона $\omega_{\max}$ и $\omega_{\min}$ — чем мельче фракция и чем больше диапазон ω , тем большее число делений ΔH приходится брать. Для фракции $0,3 - 0,5 \text{ мм}$ достаточно 5 делений, а для фракции $0,08 - 0,1 \text{ мм}$ уже необходимо взять не менее 10 делений ΔH .

Для дальнейшего упрощения графо-аналитического метода можно кривую отложений Гаусса заменить треугольником с высотой, равной моде кривой, и с площадью, равной площади кривой Гаусса¹.

Площадь же кривой Гаусса ω может быть получена по объёму отлагающихся наносов ΔV в данном интервала потока ΔH :

$$\Delta V = \frac{\gamma \Delta H v_{\text{пр}} t}{100 \gamma_1} = \omega.$$

Мода кривой вычисляется также легко. Так как мода соответствует значению $x = a$, то

$$\Delta y_{\max} = \frac{\gamma_{\text{пр}} v_{\text{пр}} t \Delta H}{100 \gamma_1 \sqrt{2\pi\sigma}} \quad (63)$$

¹ Можно было бы приравнять основание треугольника 6σ и находить его высоту, но это не будет иметь существенного влияния на длину отстойника, поскольку изменения коснутся только хвостовой части отложений отдельных фракций, в процентном отношении имеющих ничтожное значение.

Основание треугольника отложений b получится из выражения

$$\frac{b\Delta y_{\max}}{2} = \omega \text{ и } b = \frac{2\omega}{\Delta y_{\max}}$$

или

$$b = \frac{2\gamma\Delta H v_{PH} t \cdot 100\gamma_1 \sqrt{2\pi} \cdot \sigma}{100\gamma_1 \cdot \gamma_{PH} vt\Delta H} = 2\sqrt{2\pi\sigma} \approx 5\sigma.$$

Ввиду значительной простоты вычислений и построения в данном случае можно поток по высоте разбить на более мелкие интервалы ΔH .

Приведём построение кривой поверхности отложений методом треугольников для вышеприведённого примера.

Вычисления сведены в таблицу 50. Интервалы приняты по 0,10 м.

Таблица 50

№ точек	H (м)	a (м)	σ (м)	b = 5σ (м)	Δy _{max} (см)
1	2,075	12,35	1,033	5,17	5,1
2	1,975	11,75	0,983	4,92	5,36
3	1,875	11,15	0,934	4,67	5,64
4	1,775	10,55	0,983	4,42	5,97
5	1,675	9,96	0,883	4,16	6,32
6	1,575	9,37	0,783	3,91	6,78
7	1,475	8,77	0,733	3,67	7,20
8	1,375	8,18	0,684	3,42	7,71
9	1,275	7,58	0,634	3,17	8,32
10	1,175	6,98	0,584	2,92	9,03
11	1,075	6,40	0,535	2,67	9,86

Примечание. $\Delta y_{\max} = \frac{0,0527}{\sigma} \text{ м} = \frac{5,27}{\sigma} \text{ см.}$

a вычислено по формуле $a = H \frac{v}{w_{\text{ср}}}$.

σ вычислено по формуле $\sigma = \frac{\alpha - 1}{3} a$.

Графическое построение поверхности отложений произведено на рисунке 165,б. При сравнении с ранее полученной кривой поверхности отложений (рис. 165,а) убеждаемся в полной их идентичности. Следовательно, предложенное упрощение может быть принято.

Чтобы упростить графическое построение, следует иметь в виду, что интервалы между верхними концами частных зон выпадения при $\Delta H = \text{const}$ точно так же, как и расстояния между нижними концами их, равны между собой. Это позволяет упростить технику построения треугольников.

Вершины отдельных треугольников находятся на кривой, определяемой уравнением (63).

Для заданной фракции $c = \kappa H$.

$$\text{Обозначая } \frac{\gamma p_H v t}{100 \gamma_1 \sqrt{2\pi k}} = B = \text{const}$$

и заменяя $\Delta u_{\text{плх}}$ через переменную ординату вершин треугольников y , получим уравнение кривой в виде

$$y = B \frac{\Delta H}{H}$$

или

$$yH = B\Delta H = \text{const.} \quad (64)$$

при

$$\Delta H = \text{const.}$$

Получили уравнение гиперболы, предварительным построением которой упростится построение треугольников отложений. С таким же успехом можно было бы провести построение поверхности отложений и при замене кривой Гаусса неравнобедренным треугольником, учитывая асимметрию элементарных кривых отложений.

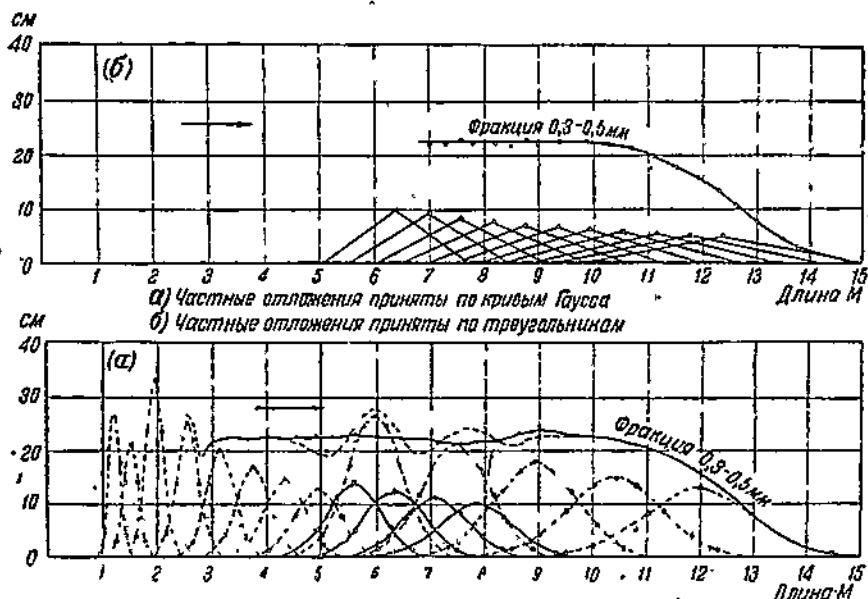


Рис. 165. Поверхность отложений отдельной фракции 0,3—0,5 мм при равномерном распределении её в потоке по вертикали при $v=0,30$ м/сек.

При наличии в потоке, как это всегда и бывает, разных фракций наносов, вышеизложенное построение необходимо произвести для каждой фракции и просуммировать геометрически кривые отложений отдельных фракций, тогда и получится общая кривая поверхности отложений наносов в потоке.

Рассмотрим ниже влияние только состава наносов на приведённом конкретном примере, полагая, как и прежде, равномерное распределение их по вертикали. Для этого проведём подобные же построения ещё для двух фракций:

0,08—0,1 мм,

0,1—0,3 мм.

Содержание фракции 0,08—0,1 мм $p_H = 0,05\%$, фракции 0,1—0,3 мм $p_H = 0,03\%$.

Гидравлическая крупность и коэффициент α будут:
для фракции 0,08—0,1 мм:

$$\left. \begin{aligned} w_{\min} &= 0,65 \text{ см/сек.} \\ w_{\max} &= 0,93 \text{ »} \\ w_{\text{ср}} &= 0,79 \text{ »} \end{aligned} \right\} \alpha = 0,59 \left(1 + \frac{w_{\max}}{w_{\min}} \right) = 1,43$$

для фракции 0,1—0,3 мм:

$$\left. \begin{aligned} w_{\min} &= 0,93 \text{ см/сек.} \\ w_{\max} &= 3,4 \text{ »} \\ w_{\text{ср}} &= 2,17 \text{ »} \end{aligned} \right\} \alpha = 2,75.$$

Величина A при $t = 6$ часам и $\Delta H = 0,1$ м будет:
для фракции 0,08—0,1 мм при $\gamma_1 = 1\ 200$.

$$A = \frac{\gamma p_H v t}{100 \gamma_1 \sqrt{2\pi}} \Delta H = \frac{1\ 000 \cdot 0,05 \cdot 0,3 \cdot 6 \cdot 3\ 600}{100 \cdot 1\ 200 \sqrt{2\pi}} \cdot 0,1 = 0,108;$$

для фракции 0,1—0,3 мм при $\gamma_1 = 1\ 300$

$$A = \frac{1\ 000 \cdot 0,03 \cdot 0,3 \cdot 6 \cdot 3\ 600 \cdot 0,1}{100 \cdot 1\ 300 \sqrt{2\pi}} = 0,0598 \approx 0,06.$$

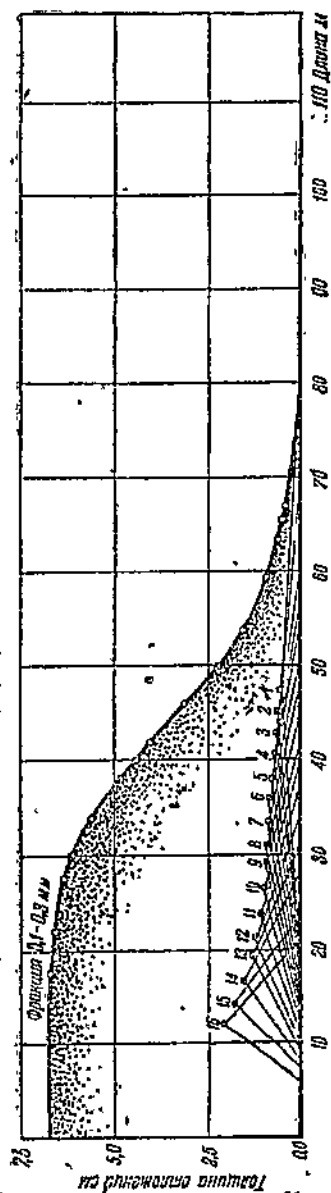
Вычисления для построения элементарных треугольников отложений сведены в таблицу 51.

На основании этой таблицы построены треугольники отложений и общие кривые поверхностей отложений для каждой фракции отдельно и суммарные кривые отложений для двух и трёх фракций наносов (рис. 166). Характер отложений, как видим, может быть самый различный, в зависимости от состава взвешенных наносов.

Для каждой отдельной фракции характер поверхности отложений идентичен. От начала отстойника до начала последней элементарной кривой отложений (точка A , рис. 167) поверхность отложений горизонтальна, далее до конца отложений криволинейна — слой постепенно уменьшается до нуля в точке B , находящейся на расстоянии $L_{\max}$ от начала отстойника. Форма этой хвостовой части поверхности отложений зависит от принятой формы элементарной поверхности отложений.

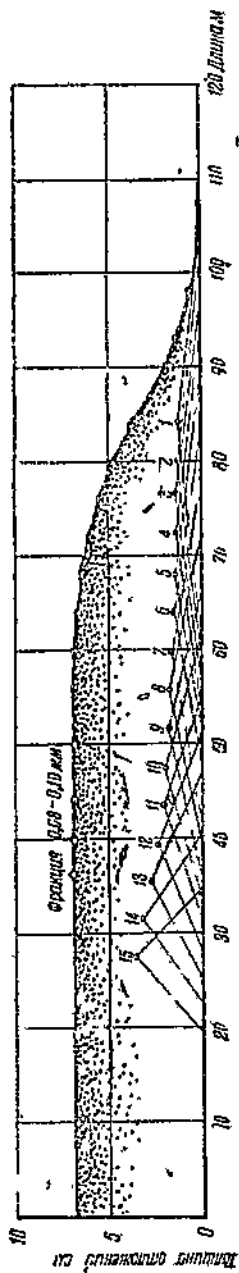
Объем отложений по формуле 3,16 м.м.

по формулу 3,11 м.м.



Объем отложений по формуле 5,75 м.м.

по формулу 5,77 м.м.



Положение точки A определяется по табличным данным (табл. 51), а именно:

$$L_a = a - \frac{b}{2} = a - 2,5\sigma.$$

Таблица 51

Значения $\delta\Delta y_{\max}$ и b для построения картный отложений наносов для фракций 0,08—0,10 мм и 0,1—0,3 мм

№ точек	Глубина H (м)	Фракция 0,08—0,1 мм				Фракция 0,1—0,3 мм			
		a (м)	σ (м)	$b = 5\sigma$ (м)	$\delta\Delta y_{\max}$ (см)	a (м)	σ (м)	$b = 5\sigma$ (м)	$\delta\Delta y_{\max}$ (см)
1	2,075	84,1	9,78	48,7	1,11	47,0	10,7	53,5	0,56
2	1,975	80,05	9,25	46,3	1,17	44,6	10,2	51,0	0,59
3	1,875	76,0	8,79	43,9	1,23	42,4	9,67	48,3	0,62
4	1,775	71,9	8,32	41,6	1,30	40,2	9,16	45,8	0,65
5	1,675	67,8	7,85	39,2	1,38	37,9	8,64	43,2	0,69
6	1,575	63,8	7,38	36,9	1,47	35,6	8,12	40,6	0,74
7	1,475	59,75	6,92	34,5	1,57	33,4	7,62	38,1	0,79
8	1,375	55,70	6,44	32,2	1,68	31,1	7,10	35,5	0,84
9	1,275	51,65	5,97	29,9	1,81	28,8	6,58	32,9	0,91
10	1,175	47,60	5,51	27,5	1,96	26,6	6,06	30,8	0,99
11	1,075	43,55	5,04	25,2	2,15	24,3	5,55	27,8	1,08
12	0,975	39,50	4,57	22,8	2,37	22,1	5,03	25,2	1,19
13	0,875	35,45	4,10	20,5	2,65	19,8	4,52	22,6	1,33
14	0,775	31,40	3,63	18,1	2,98	17,5	4,00	20,0	1,50
15	0,675	27,35	3,16	15,8	3,42	15,25	3,48	17,4	1,72
16	0,575	—	—	—	—	13,0	2,97	14,8	2,02

Примечание. $\delta\Delta y_{\max} = \frac{A}{c} 100$ см; $a = L_{cp} = \left(\frac{0,59}{w_{\min}} + \frac{0,41}{w_{\max}} \right) \cdot H v$;
 $c = \left(\frac{0,197}{w_{\min}} - \frac{0,137}{w_{\max}} \right) \cdot H v$,

где a определяется при H , соответствующем положению первого интервала глубины от поверхности потока.

По полученным формам отложений были вычислены объёмы их на 1 м ширины отстойника. Полученные результаты приведены в таблице 52.

Таблица 52

Фракции (мм)	Объёмы отложений, полученные (м ³)	
	по графику	аналитически по процентному содержанию в потоке
0,08—0,1	5,77	5,75
0,1—0,3	3,11	3,16
0,3—0,5	2,76	2,80
Сумма . .	11,64	11,71

Из таблицы видим, что графо-аналитический метод даёт вполне влетворительную точность.

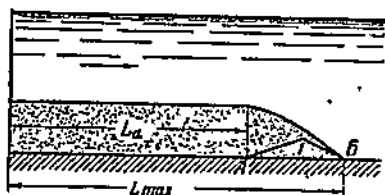


Рис. 167.

В общем случае характер отложений наносов будет зависеть от состава наносов, количественного соотношения отдельных фракций и распределения их по вертикали.

Проведённые выше построения относились к случаю равномерного распределения наносов по вертикали. Это частный случай. Но из этого частного случая вытекает и методика построения кривых поверхностей отложений для любого закона распределения взвешенных наносов по вертикали. Пусть, например, распределение данной фракции наносов будет по закону произвольной кривой, представленной на рисунке 168.

Разделяя вертикаль на участки ΔH , можем считать количество наносов в отдельных элементарных слоях потока по среднему проценту, т. е. кривая графа превратится в ступенчатую. Для каждой отдельной кривой

отложений в этом случае будет свой процент p_n . Следовательно, придётся вычислять для каждого интервала свой коэффициент A в уравнении элементарной (отдельной) кривой отложений:

$$\Delta y = A \frac{1}{\frac{(x-a)^2}{2a^2}},$$

где A представляет собой следующее выражение

$$A = \frac{\gamma p_n v t}{100 \gamma_1 \sqrt{2\pi}} \Delta H.$$

Переменными величинами здесь, таким образом, будут являться p_n и ΔH . Но в общем случае при неравномерном распределении скорости по вертикали и v здесь будет переменной.

Рассмотрим ниже установление поверхности отложений в случае распределения наносов по вертикали по треугольнику при постоянной скорости течения.

Проведём аналогичные построения для фракции 0,3—0,5 мм при прежних условиях потока: $v = 0,30$ м/сек., $H_0 = 2,125$ м, $\gamma_1 = 1470$ кг и p_n , изменяющемся от 0 у поверхности до $p_n = 1\%$ у дна. Так как толщина слоя отложений пропорциональна p_n , то полученная кривая отложений при $p_n = 1$ может быть легко перестроена для любого p_n путём умножения ординат полученной кривой на соответствующее новое значение его.

Вычисления сведены в таблицу 53.

На основании данных таблицы 53 проведены построения треугольников отложений (ввиду значительного диапазона толщин отложений пришлось масштаб для ординат взять разный для треугольников 1—9 и 10—22, что несколько осложнило геометрическое суммирование их) (рис. 169). Суммарная кривая отложений (вверху рис. 169) в зоне от начала отстойника до начала последнего треугольника отложений (точка a) представляет наклонную прямую. Таким образом, в этой части отстойника отложения повторяют картину распределения наносов по вертикали, как и для первого случая—равномерного распределения их по вертикали.

Как видим, графо-аналитический метод построения поверхности отложений при введённых упрощениях позволяет получать картину отложений без значительных вычислений для любого распределения наносов в потоке по вертикали.

Таким образом, даже при равномерном распределении смеси наносов по вертикали получаются неравномерные отложения их на дне—со значительным возрастанием слоя к началу отстойника. Эта картина будет усугубляться ещё наличием иногда донных наносов, которые, несомненно, все отложатся в самом начале отстойника.

Полученные результаты должны найти свое отражение при конструировании отстойников и расчёте их промывных устройств.

В ряде случаев при постоянной глубине потока можно идти на дальнейшее упрощение построения суммарной поверхности отложений.

Таблица 58

значении $6\Delta u_{\max}$ и b для построения картины отложений наносов для фракции 0,3—0,5 мм, распределённой по вертикали по треугольнику

№ точек	Глубина H (м)	a (м)	c (м)	$b = 5c$ (м)	$p_H\%$ (м)	Δ	$6\Delta u_{\max}$
1	2,075	12,55	1,027	5,14	0,0235	0,0413	4,02
2	1,975	11,92	0,977	4,88	0,0705	0,1236	12,65
3	1,875	11,30	0,928	4,64	0,1175	0,2065	22,25
4	1,775	10,70	0,879	4,39	0,1645	0,2890	32,90
5	1,675	10,10	0,830	4,15	0,2115	0,372	44,8
6	1,575	9,52	0,780	3,90	0,2585	0,454	58,2
7	1,475	8,92	0,730	3,65	0,3055	0,537	73,6
8	1,375	8,31	0,681	3,40	0,3525	0,619	91,0
9	1,275	7,70	0,632	3,16	0,3995	0,702	111,0
10	1,175	7,10	0,582	2,91	0,4465	0,784	134,5
11	1,075	6,50	0,532	2,66	0,4935	0,867	163,0
12	0,975	5,88	0,483	2,41	0,5405	0,950	196,5
13	0,875	5,27	0,433	2,17	0,5875	1,030	238,0
14	0,775	4,67	0,383	1,92	0,6345	1,112	290,5
15	0,675	4,07	0,334	1,67	0,6815	1,195	358,0
16	0,575	3,47	0,285	1,43	0,7285	1,279	440,0
17	0,525	3,17	0,260	1,30	0,7637	0,672	258,0
18	0,475	2,87	0,235	1,18	0,7872	0,692	294,0
19	0,425	2,57	0,210	1,05	0,8107	0,712	289,0
20	0,375	2,26	0,185	0,925	0,8342	0,733	396,0
21	0,325	1,96	0,161	0,805	0,8577	0,754	468,0
22	0,275	1,66	0,136	0,680	0,8812	0,774	568,0

Примечание. Увеличение процента наносов на каждые 10 см глубины будет:

$$x = \frac{10 \cdot p_H}{H_0} = \frac{10 \cdot 1}{212,5} = 0,047\%.$$

Средний процент наносов в первом сверху интервале равен $\frac{x}{2} = 0,0235$.

В последующих интервалах он будет увеличиваться на x , т. е. будет равен:

$$\frac{x}{2} + x = 1,5x; 1,5 + x = 2,5x. \text{ Затем } 3,5x, 4,5x \text{ и т. д.}$$

$$\Delta = 17,55 \Delta H \cdot p_H; 6\Delta u_{\max} = \frac{\Delta}{c} 100 \text{ см — для шести часов.}$$

Это целесообразно также делать и в тех случаях, когда имеется весьма детальный анализ наносов. При относительно грубом механическом анализе наносов, который обычно имеет место в современной гидрометрии, приходится делать известные допуски, предполагая, например, равномерный состав частиц в отдельной фракции и оперируя по средним арифметическим между крайними пределами диаметров или гидравлической крупностью её. Наши анализы отдельных

фракций по формам и весу частиц показывают, что это далеко не всегда наблюдается. Следовательно, точность расчётов весьма существенно зависит от детальности механического анализа наносов. Чем больше число фракций, на которые произведён анализ, тем точнее могут быть проведены расчёты по поверхности отложений, а следовательно, и по установлению длины отстойника. В связи с указанным можно пойти на некоторое дальнейшее упрощение расчётов.

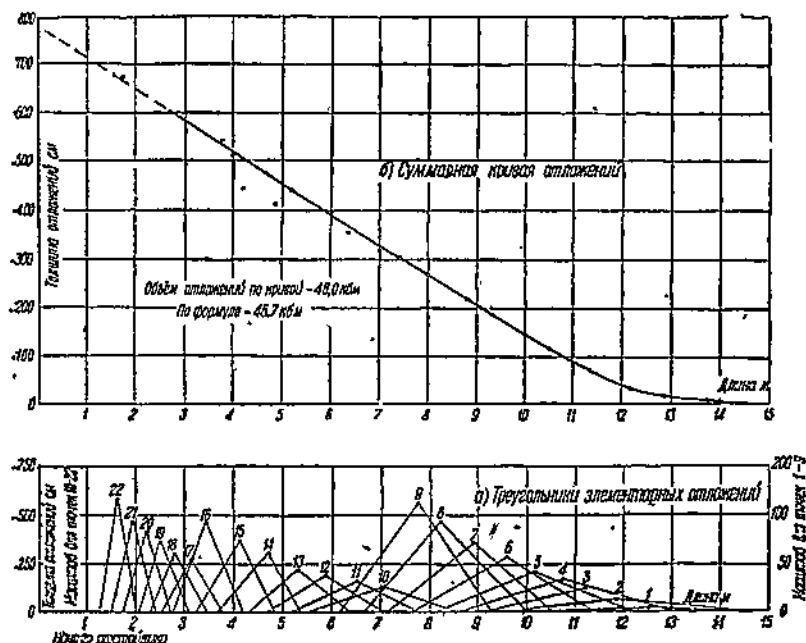


Рис. 169. Поверхность отложений отдельной фракции песка 0,3—0,5 мм при распределении ее в потоке по вертикали по треугольнику.

При равномерном распределении данной фракции по вертикали форма поверхности её отложений может быть принята по прямоугольной трапеции с нижним основанием $L_{\max}$, определяемым по формуле:

$$L_{\max} = \alpha H \frac{v}{v_{\text{ср}}},$$

где α определяется по формуле (56), а H —полная глубина потока.

Верхнее основание при построении по элементарным треугольникам будет равно $(L_{\max} - 5\sigma)$, где σ определяется по формуле (58). Высота трапеции h определится из общего объема W_{ϕ} данной фракции в потоке, прошедшего через начальное сечение его в течение рассматриваемого промежутка времени. Объем призмы отложений данной фракции на ширине в 1 м будет $\frac{2L_{\max} - 5\sigma}{2} \cdot h$.

Приравнивая этот объём W_ϕ , получим h в виде

$$h = \frac{W_\phi}{L_{\max} - 2,5\sigma}.$$

И для ещё более приближённого расчёта или при весьма детальном анализе наносов отложений отдельных фракций можно считать по прямоугольникам с основанием, равным $L_{\max}$, как делает проф. Е. А. Замарин. Это даёт известный запас в длине отстойника. Высота прямоугольника будет:

$$h = \frac{W_\phi}{L_{\max}}.$$

При вертикальном распределении данной фракции наносов в потоке по треугольнику поверхность отложения её также может быть упрощена и принята в виде прямоугольного треугольника с основанием, равным $L'_{\max}$, определяемым формулой:

$$L'_{\max} = H \frac{v}{v_{\text{ср}}}.$$

Отбрасывается, таким образом, хвостовая криволинейная часть на рисунке 169. Отбрасываемая площадь составляет незначительный процент от всей площади отложений данной фракции. Высота треугольника отложений h' определяется из выражения:

$$h' = \frac{2W_\phi}{L'_{\max}}.$$

Глубина потока переменная, ширина постоянная

В том случае, когда дно отстойника не горизонтально, построение поверхности отложений можно провести аналогичными приёмами. Осложнение вычислений здесь связано с установлением крайних пределов отдельных зон выпадения — их придётся вычислить по уравнению траектории (формула 38).

$$\frac{\lg \alpha}{2H_1} x^2 + x = \frac{v_{\text{вх}}}{v_0} y.$$

При этом, так как нас интересует только точка падения частицы на дно, то вместо y следует подставить выражение:

$$y = H_1 + x \lg \alpha.$$

Тогда для установления x будем иметь уравнение:

$$\frac{\lg \alpha}{2H_1} x^2 + \left(1 - \frac{v_{\text{вх}}}{v_0} \lg \alpha\right) x = \frac{v_{\text{вх}}}{v_0} H_1. \quad (65)$$

H_1 здесь будет меняться в зависимости от положения отрезка ΔH по глубине.

Чтобы установить ширину по дну отдельного треугольника отложений, необходимо установить для него сначала на основании этого уравнения $x_{\max}$ и $x_{\min}$, которые будут соответствовать скоростям падений частиц в потоке $w_{п.\min}$ и $w_{п.\max}$ при известном H . Так как $x_{\max} - x_{\min} = 6\sigma$, то отсюда находится σ , а основание треугольника отложений принимается равным 5σ .

Наименьшая скорость падения частицы в потоке может быть установлена из выражений:

$$L_{\max} = \alpha H \cdot \frac{v}{w_{\text{ср}}} = \alpha H \frac{2v}{w_{\max} + w_{\min}},$$

здесь $w_{\text{ср}}$ — средняя арифметическая гидравлическая крупность частиц, а $w_{\max}$ и $w_{\min}$ — наибольшая и наименьшая гидравлические крупности частиц данной фракции.

С другой стороны, имеем:

$$L_{\max} = H \frac{v}{w_{п.\min}}.$$

Приравнявая $L_{\max}$, получим:

$$\frac{2\alpha}{w_{\max} + w_{\min}} = \frac{1}{w_{п.\min}};$$

отсюда

$$w_{п.\min} = \frac{w_{\max} + w_{\min}}{2\alpha}$$

и

$$\alpha = 0,59 \left(1 + \frac{w_{\max}}{w_{\min}} \right).$$

Подставляя α в $w_{п.\min}$ и упрощая, получаем:

$$w_{п.\min} = \frac{(w_{\max} + w_{\min}) w_{\min}}{1,18 (w_{\max} + w_{\min})} = \frac{w_{\min}}{1,18}.$$

Наибольшая скорость падения в потоке $w_{п.\max}$ определится аналогично из $L_{\min}$:

$$L_{\min} = 0,82 H \frac{v}{w_{\max}}$$

или, вводя $w_{\text{ср}}$, получим:

$$L_{\min} = 0,82 \frac{w_{\text{ср}}}{w_{\max}} H \frac{v}{w_{\text{ср}}} = 0,41 \left(1 + \frac{w_{\min}}{w_{\max}} \right) H \frac{2v}{(w_{\max} + w_{\min})}.$$

Приравниваем это $L_{\min}$ выражению $L_{\min} = H \frac{v}{w_{\max}}$, находим $w_{\text{н. max}}$:

$$w_{\text{н. max}} = \frac{w_{\max} + w_{\min}}{0,82 \left(1 + \frac{w_{\min}}{w_{\max}} \right)} = \frac{w_{\max}}{0,82}.$$

Для получения $x_{\text{ср}} = a$, т. е. положения вершины треугольника отложений, в уравнение (65) следует подставить вместо w_0 среднее значение гидравлической крутизны для данной фракции

$$w_{\text{ср}} = \frac{w_{\max} + w_{\min}}{2}.$$

Для упрощения расчетов можно допускать с известным приближением

$$x_{\text{ср}} = \frac{x_{\max} + x_{\min}}{2}$$

при известных уже величинах $x_{\max}$ и $x_{\min}$. Высота треугольника отложений $\Delta y_{\max}$ определится, как и прежде, по формуле:

$$\Delta y_{\max} = \frac{\gamma P_{\text{н.в.}} t \Delta H}{100 \gamma_1 \sqrt{2\pi c}}.$$

Здесь величина c определяется через $x_{\max}$ и $x_{\min}$.

Если отстойник периодически промываемый, то наносы будут накапливаться, и режим будет неустановившийся. Поэтому весь период между промывками следует разбить на части в зависимости от содержания наносов в потоке: чем больше содержание наносов, тем на большее число частей следует разбивать весь период времени между промывками. Полагаем, что промежутки могут быть принимаемы в 3—6 часов. Для каждого такого промежутка положение дна считается постоянным. После установления поверхности отложений к концу данного промежутка времени необходимо её осреднить по прямой линии и установить угол наклона α нового дна. При этом изменяется входная скорость и глубина.

Распределение наносов по вертикали можно оставлять начальное.

Как видим, в данном случае установление поверхности отложений значительно осложняется, но всё же в ответственных случаях может быть получено.

Ещё более сложно установление поверхности отложений при переменных глубине и ширине отстойника.

Интегральная кривая отложений насосов

Установить длину отстойного бассейна непосредственно по полученной кривой отложений трудно. Удобным техническим средством для этого является интегральная кривая отложений по длине потока в абсолютных цифрах (объёмах) или в процентах от полного объёма отложений. В таком виде интегральная кривая позволяет устанавливать длину отстойного бассейна по заданной обеспеченности отложений наносов в нём.

При построении интегральной кривой отложений можно учитывать только те фракции, которые являются опасными для предприятия, а в некоторых случаях можно её строить только для одной фракции (расчётной). В этих случаях легче назначать необходимую частную обеспеченность осветления потока. При этом следует иметь в виду, что при построении поверхности отложений необходимо учитывать все фракции наносов, имеющиеся в потоке, поскольку они будут влиять на ход выпадения, уменьшая глубину, а также и на общий объём отложений, имеющий особенное значение при механической очистке отстойников. Для рассмотренного выше примера нами произведены подсчёты для построения интегральной кривой отложений трёх указанных там фракций. Подсчёты сведены в таблицу 54.

Таблица 54

Расстояние от начала (м)	Объём отложений в интервале (м³)	Суммарный объём отложений (м³)	Процент от полного объёма
10	3,62	3,62	31,1
15	1,26	4,88	41,9
30	1,99	6,87	59,0
40	1,215	8,085	69,5
50	1,02	9,105	78,2
70	1,55	10,655	91,5
90	0,84	11,495	98,8
100	0,125	11,62	99,8
408	0,02	11,64	100

Интегральная кривая нанесена на рисунке 166.

При желательном проценте задержания в отстойнике наносов указанных фракций, например, 95%, достаточная длина рабочей части отстойной камеры будет 77 м.

Подобный приём установления длины отстойника возможен при проектировании гидростанций. В ирригации же этот вопрос решается в зависимости от допускаемой мутности потока в каналах. В связи с этим возникает необходимость установления динамики мутности потока по длине отстойника. Интегральная кривая отложений позволяет решить и таким образом поставленную задачу. Если построить поверхность отложений наносов за 1 секунду и по ней же построить интегральную кривую, то ординаты её будут давать количество наносов, выпавших из потока на вышележащем участке. Вычитая это количество из общего количества наносов, поступавших в отстойник (в начальном сечении), получим остающееся в потоке во взвешенном состоянии количество наносов. Чтобы перейти к мутностям (кг/м³) очевидно необходимо остающееся в потоке количество наносов в килограммах разделить на расход воды (в м³/сек.). Эти операции упростятся, если построить интегральную кривую для количества наносов в килограммах, выпадающих из единицы расхода воды (м³/сек.). Для этого ординаты ранее построенной интегральной кривой (рис. 166) необходимо разделить на принятое тогда время в секундах (6 часов) и на расходы воды (в м³/сек.).

В этом случае ординаты интегральной кривой будут представлять уменьшение мутности потока в рассматриваемом сечении по сравнению с начальной—при входе в отстойник.

Вычитая ординаты интегральной кривой из начальной мутности потока, будем получать остаточную мутность потока. Таким образом интегральная кривая с нанесённой над ней линией начальной мутности потока определяет графически динамику мутности потока по длине его (рис. 170). По допускаемой мутности в каналах μ_0 определится и необходимая длина отстойника по интегральной кривой.

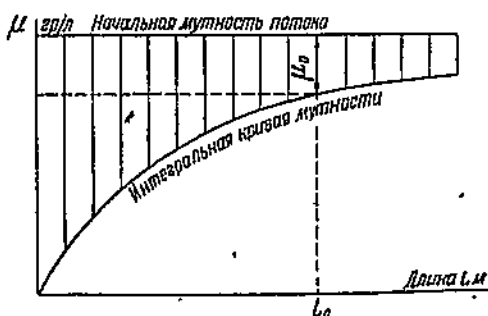


Рис. 170. График динамики мутности потока по длине.

Все построения могут быть произведены как для всей смеси наносов, так и по отдельным фракциям. Последнее даёт одновременно и наглядное представление о составе остающихся в потоке наносов. Кроме того, интегральные кривые отложений по отдельным фракциям, построенные упрощёнными методами, могут быть выражены аналитически. Уравнение интегральной кривой для отложений по трапеции получится в таком виде.

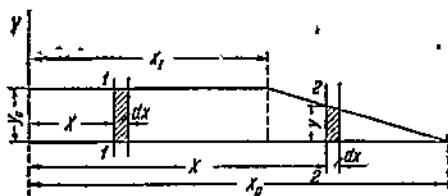


Рис. 171. Схема отложений наносов по трапеции.

1. Для участка от 0 до x_1 количество отложений в функции x будет (рис. 171):

$$V_n = \int_0^{x_1} y_0 dx = y_0 x,$$

т. е. прямая линия.

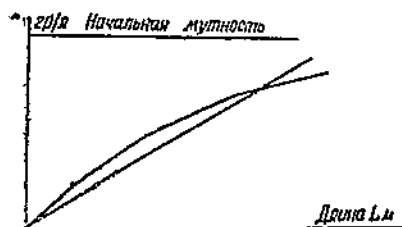
2. Для участка от x_1 до x_0 это количество выразится в функции x в виде:

$$V_T = \int_{x_1}^x y dx,$$

$$\text{где } y = \frac{y_0}{x_0 - x_1} (x_0 - x).$$

Тогда

$$V_T = \int_{x_1}^x \frac{y_0}{x_0 - x_1} (x_0 - x) dx = \frac{y_0}{x_0 - x_1} \left[x_0(x - x_1) - \frac{x^2 - x_1^2}{2} \right] :$$



А общее количество отложений для сечения 2—2 будет:

$$V_{\text{пз-}x_1} + V_T = y_0 x_1 + \frac{y_0}{x_0 - x_1} \left[(x - x_1) x_0 - \frac{x^2 - x_1^2}{2} \right] .$$

Рис. 172. Упрощенный график мутности потока по длине.

Не представит затруднений аналитически установить и необходимую длину отстойника по заданной обеспеченности осветления в процен-

тах. Обеспеченность W в % через x будет выражаться в виде:

$$W = \frac{(2x_0 - x) x - x_1^2}{x_0^2 - x_1^2} \times 100 .$$

Отсюда по заданному W находится x , если оно получается в пределах от x_1 до x_0 .

Для эпюры отложений по прямоугольникам общая для всех фракций интегральная кривая будет представлять ломаную линию, а для отдельных фракций просто наклонную прямую (рис. 172).

Глава XVIII

ПРОМЫВКА НАНОСОВ

Условия промывки наносов весьма различны для разных систем отстойников, поэтому и расчёты, связанные с удалением наносов, следует рассмотреть отдельно для каждой системы — с периодической и непрерывной промывкой. В свою очередь, в каждой из указанных систем промывки методы удаления наносов различны и зависят от конструкции (типа) отстойника, что обуславливает необходимость рассмотрения методов расчёта промывки отдельно для каждого случая.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ПРОМЫВКА НАНОСОВ

Наиболее характерными случаями промывки наносов в периодически промываемых отстойниках являются:

Первый случай. Промыв при значительном увеличении расхода воды в них при некотором снижении (или без снижения) горизонта воды, в результате чего получается нарушение режима работы отстойника и вызывается необходимость выключения деривации. Подобные случаи имеют место при промывке карманов в Индийском или Эльсценковском типах водозабора и однокамерных отстойников, как, например, на канале Форт-Ларамы.

Второй случай. Промыв относительно малыми расходами воды сильной струей, выпускаемой из-под щита в опорожненную от воды камеру. Этот случай является наиболее распространенным и встречается при промывке многокамерных отстойников.

Третий случай. Местный промыв донными отверстиями без снижения горизонта воды в отстойнике при незначительном увеличении (или без увеличения) средней скорости течения в нём, не нарушающем режим отстоя. Подобный случай имеет место при отстойнике, совмещённом с аванкамерой напорного бассейна, когда в пороге перед турбинными камерами устраиваются донные отверстия для смыва надвигающихся на него наносов, чем и предотвращается попадание их в трубопроводы. Донные отверстия устраиваются и во входном пороге отстойника, как, например, в отстойнике Чирчикских гидростанций.

Промыв наносов донными отверстиями осуществляется также в отстойнике нашей системы (рис. 41).

Первый случай. Расчёт промывки однокамерного отстойника состоит из установления:

- а) периода между промывками,
- б) величины промывного расхода,
- в) снижения уровня воды в бассейне во время промывки,
- г) длительности её.

Период между промывками устанавливается для более ответственного момента работы бассейна, когда поток несёт наибольшее количество наносов. Это соответствует паводку, когда, следовательно, и расход воды в реке большой.

При расположении бассейна в голове канала периоды между промывками ограничиваются, главным образом, возможными размерами запасаемого объёма в бассейне для отложений наносов.

Необходимая величина промывного расхода при этом не должна иметь существенного влияния на длительность этого периода, поскольку в реке имеется достаточно большой расход воды. Но, учитывая, что увеличение этого периода обуславливает удорожание как самого бассейна, так и промывных устройств и увеличивает длительность промывки, необходимо ввести всё же известные ограничения для него. Очевидно, здесь следует исходить, с одной стороны, из возможных периодов между выключениями деривации (на время промывки) и, с другой стороны, из условий эксплуатации и работы узла: при промывке карманов или отстойников, расположенных в реке навстречу потоку (например, Малка-Кура), длительность промывки определяется необходимостью промыва зоны верхнего бьефа, непосредственно примыкающей к отстойнику. При чрезмерно длительной промывке

(учитывая и операции со щитами) получится недопустимо длительное выключение деривации.

При расположении бассейна на канале, когда расход воды ограничивается пропускной способностью деривации, периоды между промывками до известной степени ограничиваются возможным промывным расходом воды и длительностью промывки. Вообще же все указанные выше характерные величины процесса промывки находятся в тесной взаимной зависимости и должны быть установлены расчётом. Так как для решения задачи могут быть составлены только два уравнения: уравнение расхода воды через сооружение и уравнение расхода наносов (донных и взвешенных), то, очевидно, придётся задаваться некоторыми величинами. Удобнее для расчётов иметь заданным промывной расход воды и период между промывками. Этот последний позволит установить количество отлагающихся и подлежащих смыву наносов.

Расчётом будут устанавливаться снижение уровня воды в бассейне и расход наносов, а затем и длительность промывки. Так как промыв производится при значительных скоростях (3—5 м/сек. и выше), то, несомненно, будет иметь место завешивание наносов. Поэтому полный расход наносов будет складываться из расхода донных и взвешенных.

Поскольку вопрос завешивания наносов и насыщения потока ими ещё не получил окончательного и достаточно надёжного разрешения, полагаем, что приближенно расход наносов может быть установлен методом, наложенным в нашей работе (67) при рассмотрении промывки карманов¹.

Длительность промывки отстойников в рассматриваемом случае — при поступлении наносов в них сверху — бывает весьма значительна. Так, например, при промывке кармана одной заграничной плотины удалось достичь положительных результатов только при длительности промывки в 18 часов и выше. При промывке левого кармана плотины «1-го Мая» (на реке Зеравшан) при длительности промывки свыше 2 часов получался намыв наносов, а не смыв. Только при более короткой промывке (1—1½ часа) удавалось смывать из кармана значительное количество наносов, но все же не полностью.

Результат промывки отстойников, расположенных в реке навстречу потоку, будет в значительной степени зависеть от занесённости бьефа наносами. Чем сильнее занесён бьеф, тем длительнее необходим промыв для обеспечения удаления наносов из вышележащей зоны верхнего бьефа. Лишь после ослабления поступления наносов в отстойник во время его промывки начнётся интенсивный смыв отложенный в самом отстойнике.

В связи с этим время, потребное на операции со щитами, в данном случае будет иметь второстепенное значение, по сравнению с длительностью промывки.

Второй случай. Расчёт периодической промывки многокамерных отстойников сводится к установлению:

а) периода между промывками,

¹ По этому вопросу см. также проф. И. И. Леви (49).

- б) величины промывного расхода,
- в) длительности промывки,
- г) уклона дна камер, обеспечивающего необходимые скорости к концу смыва наносов.

Период между промывками данной камеры зависит от числа и размеров их, а также от величины допустимого промывного расхода. Промывной расход уменьшается с увеличением числа камер отстойника.

Число же камер ограничивается следующими условиями. Если на всю операцию промывки одной секции требуется время t , а период между промывками данной камеры, определяемый наличием запасного объема в ней для скопления наносов, будет T , то наибольшее возможное количество камер n будет:

$$n = \frac{T}{t} :$$

С целью уменьшения промывного расхода следует стремиться к этому предельному числу камер. Но чрезмерное увеличение числа камер вызывает и необходимость значительной затраты времени на операции со щитами, поскольку число их будет возрастать с числом камер. Однако при больших размерах камер независимо от их числа общее количество щитов может не измениться, поскольку при значительных ширинах камер приходится устраивать по несколько выпускных и промывных щитов в каждой камере. И тогда операции со щитами при изменении числа камер не будут иметь влияния на период между промывками данной камеры.

С точки же зрения экономии на строительной стоимости целесообразно в таком случае стремиться к наименьшему возможному числу камер, определяемому величиной промывного расхода, поскольку с увеличением размеров камер должен быть увеличен и промывной расход для обеспечения сплошности потока по ширине и равномерности смыва наносов. При ограниченности расхода воды в источнике, если величина промывного расхода не определяется необходимой длительностью операций по промывке, промывной расход может быть сокращен путём введения в камерах продольных раздельных затопляемых стенок, позволяющих производить промывку камер по частям меньшими расходами. Но это увеличивает длительность промывки.

Длительность промывки в рассматриваемом случае складывается из времени, необходимого на операции со щитами (выпускными, промывными и выключающими камеру в конце её), и длительности самой промывки.

При промывке из-под щита длительность её обычно невелика, она часто значительно меньше времени, потребного на операции со щитами.

Например, в отстойнике канала Малка-Кура поднятие промывного щита происходит в течение, примерно, 25 минут, а промывка самой камеры длится 7—10 минут¹.

¹ Фактически же время промывки камер в данном случае значительно больше, поскольку одновременно происходит промывка верхнего бьефа.

В связи с этим нет необходимости стремиться к особому уточнению времени промыва камер в рассматриваемом случае.

С достаточной точностью время промыва камеры может быть установлено по среднему проценту насыщения промывного потока.

Насыщение же потока будет зависеть от скорости и от величины расхода, которые, в свою очередь, определяют глубину потока при промывке. Учитывая начальный и особенно конечный период промывки, когда насыщение потока наносами слабее, среднее содержание наносов в потоке p следует ограничивать 2—3% по весу.

Тогда по объёму отложений наносов в камере W м³ и по величине промывного расхода Q_n определится полное время на одну промывную операцию t :

$$t = t_1 + t_2 = \frac{W \cdot 100}{Q_n \cdot p} + t_2,$$

где t_2 —время на операции со щитами. Это время t не должно быть больше ($\frac{T}{n}$) для самого напряжённого периода работы отстойника.

Более ответственным в данном случае является расчёт промывного тракта (см. ниже), служащего для транспортирования пульпы в нижний бьеф.

Чаще всего этот тракт будет димитировать содержание наносов в промывном потоке, вследствие ограниченности уклона.

Скорости промывного потока в камерах обычно практикуются в пределах 3—5 м/сек. Они назначаются для обеспечения интенсивного взвешивания наносов. Так как взвешивание частиц только начинается, примерно, при скорости, равной $3 v_p$ (v_p —размывающая скорость для данных наносов), то необходимо скорость при промыве брать значительно больше указанной—раза в 2—3, что и приводит к рекомендуемой выше скорости промыва.

По промывному расходу и скорости не представляет затруднений установить и необходимый уклон дна камер к концу промывки. При этом влияние содержания наносов на коэффициент сопротивления движению потока можно не учитывать, поскольку оно ничтожно при указанном выше насыщении и при наносах, находящихся преимущественно во взвешенном состоянии.

При этом необходимо проверить отсутствие подпора со стороны промывного тракта. В противном случае промывка в намеченный срок не будет обеспечена.

Величина промывного расхода по условиям промывки может быть установлена по соотношению $\frac{b}{h}$ (где b и h —ширина и глубина потока), обеспечивающему сплошность потока и отсутствие серпентирования. Не следует брать это отношение выше 10, допуская повышение его до 15 для крупных сооружений.

С целью экономии на размерах промывного тракта необходимо стремиться к минимальному промывному расходу, обеспечивающему своевременное удаление наносов из камер в наиболее напряжённый период их работы—в паводок. Увеличение промывного расхода сверх этого хотя и возможно по гидрологическим условиям, но нецелесооб-

равно. В межень, когда расход в реке мал и не требуется столь частой промывки, как в паводок, на промыв можно брать меньший расход, удлиняя время промывки или пропаводя более частую промывку камер, не допуская заполнения запасного объема.

Третий случай. Расчет местной промывки донными отверстиями без снижения или с некоторым снижением уровня воды перед ними сводится к установлению:

- а) величины промывного расхода,
- б) размеров промывных отверстий и расстояния между ними,
- в) вены смыва наносов перед отверстиями и, в связи с этим, периода между промывками.

Расчет донных отверстий нами предлагается пропаводить на основе теории источников. Поскольку размеры отверстий обычно незначительны, по сравнению с размерами всего потока, их можно представить в виде отрицательных источников точек¹.

Установим сначала характер течения и распределения скоростей на основе этой теории, принимая установившееся безвихревое течение идеальной жидкости под действием одного источника.

Для пространственной задачи расстояние от источника до любой точки будет:

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2},$$

а функция потенциала скоростей будет функцией только одного r . По уравнению Лапласа

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0,$$

эта функция получается в виде

$$\varphi = -\frac{q}{r},$$

где q — постоянная величина, называемая напряжением источника.

Так как скорость частиц по направлению r будет:

$$v_r = \frac{\partial \varphi}{\partial r} = \frac{q}{r^2},$$

то полный расход источника через поверхность сферы радиуса r будет:

$$Q = 4\pi r^2 v_r.$$

Отсюда найдется постоянная величина q — напряжение источника:

$$q = \frac{Q}{4\pi}.$$

Так как чаще промывное отверстие представляет собой вытянутую в горизонтальном направлении щель, то для получения при-

¹ Нами рассматривается одиночное донное отверстие, потому что в практике может встретиться такой случай, а также и потому, что при недостатке воды промыв может производиться не сразу всеми отверстиями, а по одному. При промывке одновременно всеми донными отверстиями будут лучшие условия для промыва, по сравнению с принятыми в предлагаемом методе.

ближающейся к действительности картины целесообразно отверстие заменить двумя одинаковыми отрицательными источниками, помещёнными симметрично относительно середины его на расстоянии $\frac{1}{4}$ ширины отверстия. Тогда функция потенциала скоростей искомого течения будет:

$$\varphi = -\frac{q}{R_1} - \frac{q}{R_2}.$$

Здесь R_1 и R_2 — расстояния до рассматриваемой точки от источников 1-го и 2-го (рис. 173).

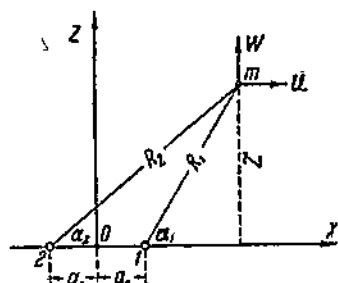


Рис. 173. Схема расположения двух отрицательных источников.

Расстояния между источниками обозначим через $2a_0$. Рассмотрим сначала действие этой системы источников на неограниченную область жидкости. Тогда течения будет симметрично относительно оси x и может быть рассматриваемо в любой из плоскостей, проходящих через эту ось.

Рассмотрим движение в плоскости zox . Координаты точки m , ... x и z . Тогда

$$R_1 = \sqrt{(x - a_0)^2 + z^2}$$

и $R_2 = \sqrt{(x + a_0)^2 + z^2}.$

Проекции скорости частицы жидкости в точке m на оси x и z будут:

$$u = \frac{\partial \varphi}{\partial x} = q \left(\frac{x - a_0}{R_1^3} + \frac{x + a_0}{R_2^3} \right)$$

$$w = \frac{\partial \varphi}{\partial z} = q \left(\frac{z}{R_1^3} + \frac{z}{R_2^3} \right).$$

Уравнение линий тока в рассматриваемой плоскости будет:

$$\frac{dx}{u} = \frac{dz}{w}$$

или

$$w dx - u dz = 0.$$

При течении, симметричном относительно оси x , интегрирование этого уравнения можно произвести следующим образом¹.

Умножаем уравнение линий тока на z :

$$z w dx - z u dz = 0.$$

Тогда, по Стоксу, полный дифференциал функции течения ds будет:

$$ds = z w dx - z u dz = 0.$$

¹ См. А. Я. Милдович. Основы динамики жидкости, 1933 г.

Но

$$ds = \frac{\partial s}{\partial x} dx + \frac{\partial s}{\partial z} dz,$$

отсюда имеем:

$$\frac{\partial s}{\partial x} = wz \text{ и } \frac{\partial s}{\partial z} = -z u.$$

По правилам интегрирования многочленов имеем:

$$ds = zu dz = -qz \left(\frac{x-a_0}{R_1^3} + \frac{x+a_0}{R_2^3} \right) dz.$$

Интегрируя, получаем:

$$s = -q(x-a_0) \int \frac{z dz}{R_1^3} - q(x+a_0) \int \frac{z dz}{R_2^3} + f(x),$$

где $f(x)$ — некоторая произвольная функция, которую надо отыскать, так как интегрирование вели в предположении, что s функция только одного z . Так как

$$\begin{aligned} -\int \frac{z}{R_1^3} dz &= \frac{1}{R_1^2} \\ -\int \frac{z}{R_2^3} dz &= \frac{1}{R_2^2}, \end{aligned}$$

то

$$s = q \frac{x-a_0}{R_1^2} + q \frac{x+a_0}{R_2^2} + f(x).$$

Для определения $f(x)$ возьмём от полученного выражения частную производную по x :

$$\frac{\partial s}{\partial x} = \frac{qz^2}{R_1^3} + \frac{qz^2}{R_2^3} + f'(x).$$

Но, так как

$$wz = q \left(\frac{z^2}{R_1^3} + \frac{z^2}{R_2^3} \right) \text{ и } \frac{\partial s}{\partial x} = wz,$$

то можем написать:

$$\frac{qz^2}{R_1^3} + \frac{qz^2}{R_2^3} + f'(x) = \frac{qz^2}{R_1^3} + \frac{qz^2}{R_2^3}.$$

Следовательно,

$$f'(x) = 0 \text{ и } f(x) = \text{const.}$$

Окончательно имеем:

$$s = q \frac{x-a_0}{R_1^2} + q \frac{x+a_0}{R_2^2} + \text{const.}$$

Приравнивая функцию течения s постоянной величине, будем получать соответствующее этой постоянной уравнение линии тока:

$$\frac{x-a_0}{R_1} + \frac{y+a_0}{R_2} = \text{const.}$$

Выражение разделено на q , так как оно — постоянная величина.

Это уравнение тока можно преобразовать таким образом:
Так как

$$\frac{x-a_0}{R_1} = \cos \alpha_1 \quad \text{и} \quad \frac{y+a_0}{R_2} = \cos \alpha_2,$$

то

$$\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2 = \text{const} = C. \quad (66)$$

На основании этого уравнения нами построены линии токов на рисунке 174 для постоянных C , изменяющихся через 0,2.

При этом для упрощения построения была разбита на плоскости сетка с квадратами в 2 см и для точек пересечений линий сетки определено значение постоянной C . Это значительно упростило вычисление. Затем по значениям C , как по отметкам, проводились путём интерполяции линии равных значений C .

Для установления пределов возможного смыва наносов перед отверстием необходимо построить линии равных скоростей.

Полная скорость v в любой точке потока будет:

$$v = \sqrt{u^2 + w^2}$$

или

$$v = q \sqrt{\left[\frac{x-a_0}{R_1^2} + \frac{y+a_0}{R_2^2} \right]^2 + \left[\frac{z}{R_1^2} + \frac{z}{R_2^2} \right]^2}. \quad (67)$$

Задаваясь определёнными значениями $v = \text{const}$, будем иметь каждый раз уравнение линии равных скоростей. Построение их также проще вести обратным путём, т. е. задаваться координатами точек и искать для них значение v и затем по значениям v , интерполируя, проводить линии с постоянным значением скорости, аналогично с построением линий токов. На основании приведённого уравнения нами построены линии равных скоростей (для сантиметровых размеров) на рисунке 174 для промывного расхода $Q_n = 1$ и при $a_0 = 2$ см.

Для установления действительных значений скоростей необходимо соответствующие значения v (при $Q_n = 1$) умножать на фактический расход воды источника.

Этот последний будет зависеть от условий притекания воды к донному отверстию.

Чаще всего в практике приходится иметь дело с отверстием, расположенным в вершине прямого угла. Но при наличии большого слоя отложений наносов поверхность их вымыва (откос) может также служить ограничивающей приток воды поверхностью. При тонком слое наносов перед отверстием целесообразнее считать с известным запасом угол между ограничивающими приток воды поверхностями

$$q = \frac{3Q_{\pi}}{4\pi}$$

Выражение для построения линий равных скоростей примет вид:

$$v = \frac{3Q_{\pi}}{4\pi} \sqrt{\left[\frac{x-2}{R_1^2} + \frac{x+2}{R_2^2}\right]^2 + \left[\frac{z}{R_1^2} + \frac{z}{R_2^2}\right]^2} \text{ см/сек.} \quad (68)$$

при $a_0 = 2$ см (по модели).

Опытные данные по промывке наносов приведены в таблице 60.

В этой таблице Q_{π} представляет площадь смыва наносов в плане на поверхности отложений (рис. 175), v_{π} —средняя скорость протека-

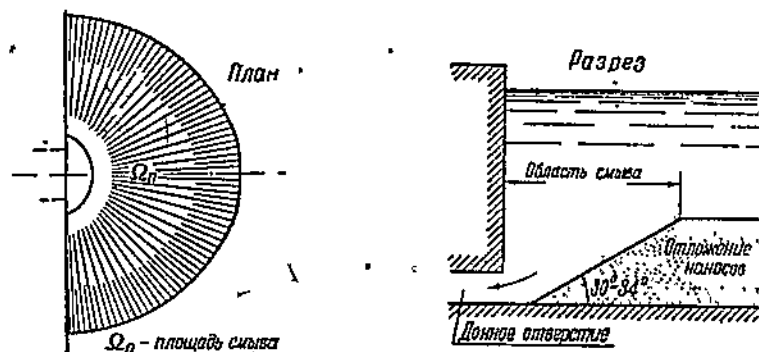


Рис. 175. Схема смыва наносов донным отверстием.

ния воды через площадь смыва Q_{π} , которая определяет среднюю размывающую скорость для наносов на откосе; $v_{от}$ —скорость в промывном отверстии. Для определения v_{π} в различных случаях практики нами составлена эмпирическая зависимость (с округлением коэффициентов) на основании данных этой таблицы между безразмер-

ными величинами $\frac{v_{\pi}}{v_p}$ и $\frac{v_{от}}{v_p}$:

$$\frac{v_{\pi}}{v_p} = 0,07 \frac{v_{от}}{v_p} + 0,09. \quad (69)$$

Здесь v_p —размывающая скорость для наносов в обычном представлении—при горизонтальном дне.

Для сопоставления теоретических расчётов по величине зоны смыва с наблюдаемыми её размерами нами составлена таблица 55.

Наблюдаемые величины a и b взяты из таблицы 60, теоретические же их значения установлены на основании вышеприведённого выражения для v , где v приравнялось к средней размывающей скорости наносов на откосе v_{π} , приведённой в таблице 60.

Для определения значений a и b были построены на основе линий равных скоростей кривые изменения скоростей по двум осям эллипса a и b для $Q_{\pi} = 1$ (рис. 176).

Размеры полуовальной вымыва α и β для всех
проведённых опытов

Q_{II} (см ³ /сек.)	Полуоси эллипса (м)			
	теоретические		опытные	
	α	β	α	β
Диаметр фракций = 0,1—0,25 мм				
4 405	0,132	0,124	0,163	0,135
1 275	0,127	0,120	0,162	0,125
1 680	0,134	0,126	0,163	0,137
Диаметр фракций = 0,3—0,5 мм				
541	0,097	0,087	0,135	0,08
1 710	0,130	0,123	0,161	0,13
1 970	0,140	0,131	0,163	0,142
Диаметр фракций = 0,5—1,0 мм				
930	0,107	0,098	0,14	0,10
1 360	0,114	0,106	0,15	0,11
1 980	0,123	0,115	0,158	0,12
2 420	0,122	0,114	0,16	0,12
Диаметр фракций = 1,0—1,5 мм				
1 880	0,116	0,109	0,146	0,12
2 260	0,130	0,123	0,155	0,135
2 580	0,140	0,131	0,16	0,146

Для перехода к фактическим скоростям составлена таблица значений их при фактически имевших место промывных расходах (табл. 56).

Таблица 56

Скорости при $Q_{II} = 1 \text{ см}^3/\text{сек.}$	Скорости, соответствующие указанным промывным расходам (см/сек.)												
	1 405	1 275	1 660	541	1 710	1 970	930	1 360	1 980	2 420	1 880	2 260	2 580
0,015	21,1	19,15	24,9	8,1	25,6	29,5	13,95	20,4	29,7	36,3	28,2	33,8	38,7
0,012	16,85	15,3	19,9	6,49	20,5	23,6	11,15	16,3	23,8	29,0	22,5	27,1	31,0
0,009	12,65	11,4	14,95	4,86	15,33	17,73	8,37	12,24	17,80	21,8	16,9	20,3	23,2
0,008	8,43	7,65	9,95	3,24	10,26	11,83	5,58	8,14	11,9	14,56	11,3	13,58	15,5
0,003	4,22	3,82	4,97	1,62	5,13	5,9	2,79	4,07	5,94	7,25	5,63	6,77	7,75
0,0015	2,11	1,92	2,49	0,81	2,56	2,95	1,39	2,04	2,97	3,63	2,82	3,38	3,87

Пользуясь кривыми и данными таблицы 56, устанавливаем теоретические значения a и b . При этом каждый раз масштаб скоростей одвигается соответственно новому промывному расходу.

Так, например, если рассматриваем $Q_n = 1\ 405\ \text{см}^3/\text{сек.}$, то соответственно этому расходу находим по таблице 56 значения линий равных

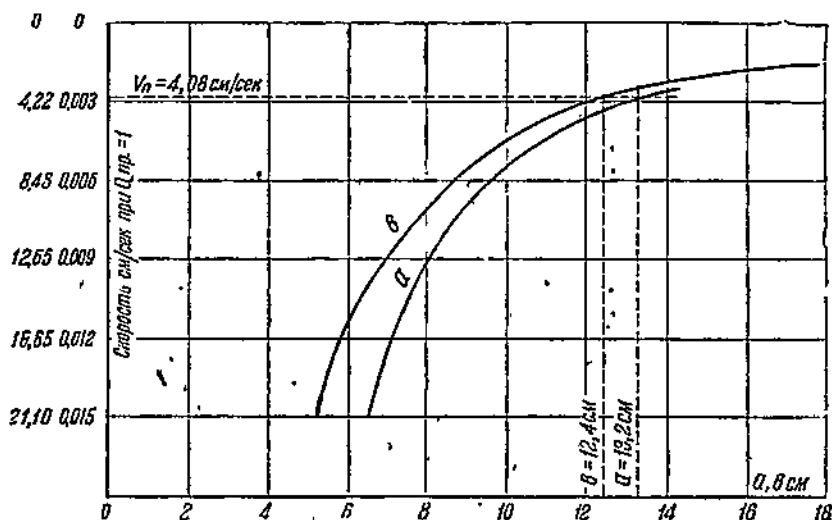


Рис. 176.

скоростей (фактических) и выписываем их на рисунке 176 против соответствующих значений v при $Q_n = 1$. Затем по наблюдаемой v_n (из табл. 60) определяем a и b . В данном случае $v_n = 4,08\ \text{см/сек.}$ Определение a и b нанесено пунктиром на рисунке 176.

Таким путём и составлена таблица 55.

Из сопоставления результатов таблицы 55 можем констатировать, что теория источника точки в данном случае приводит к достаточно удовлетворительным результатам.

Величина смыва b , учитывая точность измерения на модели пределов смыва до $1-2\ \text{см}$, даёт полное совпадение; величина же a (теоретическая) получилась несколько меньше наблюдений—расходимость достигает $3\ \text{см}$ при малых расходах и уменьшается при больших расходах, что и имеет больший интерес для расчёта.

Необходимо отметить, что очертание зоны вымыва наносов может быть принято по эллипсу, что вполне оправдывается и теорией источника. Нами были составлены уравнения эллипсов по теоретическим значениям его полуосей a и b и нанесены на кривые равных скоростей (рис. 177). Как видим совпадение вполне удовлетворительное, особенно, если учесть, что линии равных скоростей наносились не по точкам, а путём интерполяции.

Таким образом, можно установить следующий порядок расчёта донных устройств на основе этой теории.

1. По заданному составу отлагающихся наносов устанавливается размывающая скорость v_p .

2. По принятым размерам отверстий и при заданном промывном расходе Q_n определяется промывная скорость в отверстиях $v_{от}$ и по уравнению (69) определяется скорость v_n — фактическая предельная

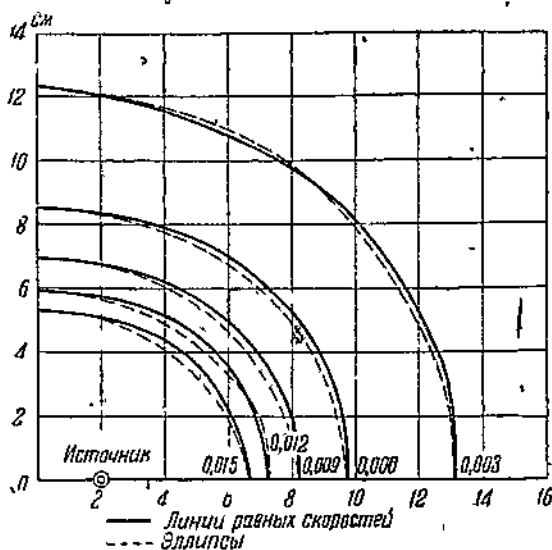


Рис. 177.

размывающая скорость для наносов на откосе при промывке. При тонком слое наносов, когда угол между ограничивающими промывной поток плоскостями может быть принят равным 90° , v_n будет равна v_p , которая берётся по существующим нормам.

3. На основании уравнения скоростей в потоке при $Q_n=1$ и при установленном расстоянии между источниками $a_0 = \frac{l}{2}$ строятся линии равных скоростей (l — ширина донного отверстия).

Так как возможно, что Q_n отдельных отверстий придётся менять в процессе проектирования, то целесообразно будет линии равных скоростей строить именно для $Q_n=1$.

При этом угол между ограничивающими промывной поток плоскостями для натурy может меняться в зависимости от толщины слоя отложения. Но учитывая, что необходимо добиваться полного, до дна, смыва наносов на значительном расстоянии от отверстия, можно принимать этот угол в 90° . Это будет идти в запас — преуменьшать расстояние между отверстиями. В уравнении скорости необходимо в этом случае вместо $\frac{3Q_n}{4\pi}$ перед корнем поставить $\frac{Q_n}{2\pi}$.

4. По линиям равных скоростей строятся кривые изменения их по осям x и z в положительном направлении и по этим кривым и опре-

делённым ранее v_n или v_p устанавливаются возможные пределы смыва наносов перед отверстиями, т. е. полуоси эллипса вымыва a и b . По a и b можно составить уравнение эллипса и нанести на чертёж для выделения зоны смыва наносов на поверхности отложений.

Предельное наибольшее расстояние между отверстиями (их осями) будет равно $2a$.

Второй предел—наименьший—расстояния между осями отверстий может быть установлен по величине зоны смыва до дна.

Если на поверхности наносов смыв будет на величину a , то у дна он будет на величину:

$$\left(a - \frac{h}{\operatorname{tg} \beta}\right),$$

и тогда наименьшее расстояние между осями отверстий будет:

$$2 \left(a - \frac{h}{\operatorname{tg} \beta}\right),$$

здесь β —угол откоса наносов $\approx 34^\circ$.

Допуская некоторый остаток наносов у дна на пространстве между отверстиями, можно расстояние несколько увеличить, по сравнению с минимальным, но не делать его свыше $2a$.

Для наглядности нами приведён графо-аналитический метод определения размеров зоны смыва. Но те же величины a и b могут быть получены и чисто аналитическим путём.

Действительно, уравнение изменения скорости вдоль стенки получится из общего уравнения скорости при $z=0$, а нормально к отверстию при $x=0$.

Имеем:

При $z=0$

$$v_x = \frac{3Q_n}{4\pi} \left[\frac{x-a_0}{R_1^3} + \frac{x+a_0}{R_2^3} \right],$$

или, так как в данном случае будет

$$\begin{aligned} R_1 &= x - a_0 \\ R_2 &= x + a_0, \end{aligned}$$

то

$$v_x = \frac{3Q_n}{4\pi} \left[\frac{1}{(x-a_0)^2} + \frac{1}{(x+a_0)^2} \right] = \frac{3Q_n}{2\pi} \cdot \frac{(x^2+a_0^2)}{(x^2-a_0^2)^2}. \quad (70)$$

При $x=0$

$$v_z = \frac{3Q_n}{4\pi} \sqrt{\left[\frac{-a_0}{R_1^3} + \frac{a_0}{R_2^3} \right]^2 + \left[\frac{z}{R_1^3} + \frac{z}{R_2^3} \right]^2}$$

или, так как

$$R_1 = \sqrt{a_0^2 + z^2} \quad \text{и} \quad R_2 = \sqrt{a_0^2 + z^2} = R_1,$$

то

$$v_z = \frac{3Q_n}{4\pi} \frac{2z}{R_1^3} = \frac{3Q_n \cdot z}{2\pi \sqrt{(a_0^2 + z^2)^3}}. \quad (71)$$

Проверим построенные графически кривые изменения v при $Q_n=1$.

Задаёмся значениями z и x и определяем соответствующие скорости v_z и v_x . Результаты сведены в таблицу 57.

Таблица 57

z (см)	v_z (см/сек)	x (см)	v_x (см/сек)
6	0,0113	7	0,0125
8	0,00682	8	0,0090
10	0,00449	10	0,00537
14	0,00236	12	0,0036
16	0,00182	14	0,0026

Значениям z и x на рисунке 176 соответствуют b и a . Полученные результаты, как видим, соответствуют построенным кривым.

Не трудно вычислить величины a и b для любого промывного расхода воды при заданной размывающей скорости для наносов.

В данном случае нами не учитывалась поступательная скорость всей массы воды. Это мы считаем возможным делать в первом приближении разработки теории расчёта промывных отверстий, учитывая, что обычно эта скорость значительно меньше промывной скорости, особенно в отстойниках или в глубоких бьефах.

При наличии же значительных поступательных и даже касательных к отверстию скоростей смыв наносов существенно усилится. Поэтому промыв донными отверстиями полезно совмещать со сбросом воды через промывной пилос в плотине, хотя бы и не при полном открытии его. Одновременный с промывкой донными отверстиями отвод воды в канал также способствует смыву донных отложений и увеличению зоны действия отверстий.

Таким образом, предлагаемым методом учитываются одновременно величина промывного расхода в одном отверстии и зона смыва наносов. По заданному поступлению донных наносов и по полученной зоне смыва можно установить и период между промывками, допуская занесение зоны смыва до некоторого предела, когда наступает такое положение отложений наносов перед порогом, при котором они начинают поступать в значительном количестве в канал. Поскольку пока такое критическое положение установить не представляется возможным, предлагается считать, во избежание забивки отверстий, предельным заполнением зоны смыва, когда подошва откоса отложений подойдёт к порогу и останется незаполненным лишь треугольник между вертикальной гранью порога и откосом отложений.

При очень высоких порогах (3—5 м и выше) и значительной толщине отложений можно допустить занесение порога до верха донных отверстий, откуда и будет идти откос отложений.

Размеры промывных отверстий будут определяться размерами донных галерей, каковые, в свою очередь, будут диктоваться их длиной и формой в плане и величиной напора, теряемого в них (см. расчёт промывных галерей). Форма сечения донного отверстия должна быть

вытянутая вдоль порога. Целесообразно брать (по опытам) отношение ширины b к высоте h отверстия около двух.

При косом расположении донных галерей относительно входного порога это отношение может быть увеличено. В пороге Чирчикского отстойника отношение получилось около 11 (рис. 126в), что потребовало значительных скоростей в галереях (7—9 м/сек).

Промывные скорости в донном отверстии должны быть достаточно большими, в противном случае зона смыва наносов может резко сократиться. Путём расчёта по нескольким вариантам промывных отверстий и расходов не трудно установить и наиболее целесообразное решение.

НЕПРЕРЫВНАЯ ПРОМЫВКА НАНОСОВ

Характерными случаями промывки наносов в непрерывно промываемых отстойниках являются:

- 1) промыв по системе Дюфура,
- 2) промыв по системе Соколова.

Расчёт промывки системы Дюфура

В системе Дюфура расчёт промывки сводится к установлению:

- а) величины полного промывного расхода и соотношения расходов, поступающих во входное отверстие донного промывного канала и через перекрывающую его решётку;

- б) содержания наносов в промывном потоке вдоль донного канала; поскольку оно будет переменным по длине ввиду того, что выпадение наносов вдоль камеры неравномерно; при этом содержание наносов должно быть установлено для наиболее напряжённого периода работы отстойника;

- в) размеров донного промывного канала и размеров и распределения отверстий донной решётки вдоль камеры, обеспечивающих смыл наносов на всём протяжении её.

Величина полного промывного расхода определяется на основе учёта ряда обстоятельств. Вообще в данном случае необходимо стремиться к возможно минимальному промывному расходу, учитывая, что величина его отражается на размерах промывного тракта и самого донного канала, а также на размерах отстойной камеры, поскольку промывной расход подаётся через неё.

Кроме того, при расположении отстойника на деривации промывной расход будет увеличивать сечение канала. Но чрезмерное уменьшение промывного расхода может вызвать ряд затруднений при конструировании отстойника и, главным образом, донной решётки. Поэтому промывной расход должен быть установлен на основе следующих соображений:

1. Промывной тракт должен обеспечить сброс гидромассы в нижний бьеф при имеющихся условиях транспортирования, т.е. при заданном общем падении напора в сбросном тракте и при получающемся содержании наносов в гидромассе при данном промывном расходе воды.

2. Необходимо обеспечить смыв крупных наносов, отлагающихся на откосе перед входом в донный промывной канал, а также смыв наносов с донной решётки. При уменьшении промывного расхода воды просветы решётки придётся делать меньше и реже, что может затруднить смыв наносов с неё, а также обусловить забивку отверстий решётки крупными наносами (гравием), на поступление каковых рассчитывается обычно отстойник Дюфура.

3. При уменьшении промывного расхода насыщение его наносами будет возрастать. Поэтому придётся увеличить скорость течения в донном промывном канале, а это обстоятельство, в свою очередь, обусловит большие потери напора вдоль него и ухудшит условия транспортирования гидромассы в промывном тракте, поскольку теряемый на нём напор в связи с этим сократится.

Кроме того, увеличение потерь в донном промывном канале создаст большую разность давлений над донной решёткой и под ней; особенно это резко выветится к концу камеры. Так как расход через решётку будет определяться этой разностью давлений и величиной просветов, то для ограничения его придётся ещё более сократить просветы и, возможно, в решётке нижней части камеры до наведённых пределов уменьшить их число.

Предель возможного сокращения числа и размеров отверстий решётки определит и минимально допустимый промывной расход воды. Необходимо, очевидно, провести несколько подсчётов при разных промывных расходах и разных вариациях скоростей в донном канале и в промывном тракте и на основе их произвести окончательный выбор величины промывного расхода, обеспечивающей смыв наносов с решётки и транспортирование их в нижний бьеф.

Содержание наносов в промывном потоке в конце донного канала устанавливается по количеству выпавших в камере наносов в секунду для периода с наибольшим насыщением при потоке. Пусть Q и Q_n — полёный и промывной расходы одной камеры, p_0 и p_1 — процент (по весу) наносов в естественном и осветлённом потоках, p_n — процент наносов в промывном потоке.

Тогда будем иметь: естественное содержание наносов в промывном секундном расходе воды:

$$\frac{\gamma Q_n p_0}{100} \text{ кг,}$$

количество выпадающих в камере ежесекундно наносов:

$$\frac{\gamma Q (p_0 - p_1)}{100} \text{ кг.}$$

Промывной расход Q_n должен транспортировать, следовательно, в секунду:

$$\frac{\gamma Q_n p_0}{100} + \frac{\gamma Q (p_0 - p_1)}{100} \text{ кг.}$$

Приравнивая эту сумму $\frac{\gamma Q_n P_n}{100}$, получим содержание наносов в промывном потоке в виде

$$p_n = p_0 + \frac{Q(p_0 - p_1)}{Q_n} \quad \text{в процентах по весу.} \quad (72)$$

По полученной таким путём величине p_n рассчитывается промывной тракт и устанавливается промывной расход: он является функцией содержания наносов в речном потоке.

Для расчёта же донного промывного канала необходимо знать изменение промывного расхода и количество выпадающих наносов по длине камеры.

Это можно установить следующим образом.

Распределение отлагающихся наносов вдоль камеры устанавливается изложенным выше методом. По характеру отложений строится интегральная кривая их по длине. Таким образом, для любого сечения донного канала $x-x$ будем иметь количество промываемых в секунду наносов G_x кг. При промывном расходе Q_{nx} будем иметь, аналогично вышеприведённому подсчёту, содержание наносов в нём p_x равным

$$p_x = p_0 + \frac{G_x 100}{\gamma Q_{nx}} \quad \text{в процентах по весу.}$$

Если стремиться p_x сохранить постоянным по длине донного канала, то получим:

$$Q_{nx} = A \cdot G_x,$$

где

$$A = \frac{100}{\gamma(p_x - p_0)} = \text{const},$$

т. е. величина промывного расхода в любом сечении канала должна быть пропорциональна количеству отлагающихся в камере до сечения x наносов.

Поскольку уравнение интегральной кривой отложений для естественных условий выпадения наносов получить не представляется возможным, следует в этом случае G_x брать с графически получаемой интегральной кривой отложений.

Если принять с известным допущением характер отложений наносов вдоль камеры по трапеции высотой h_1 (в килограммах на единицу длины) в начале и h_2 в конце камеры, то уравнение интегральной кривой в этом случае будет:

$$G_x = \frac{h_1 + h_x}{2} \cdot x = \frac{h_1 x}{2} + \frac{h_x x}{2}.$$

Так как

$$h_x = h_1 - \frac{x}{L}(h_1 - h_2),$$

$$G_x = h_1 x - \frac{x^2}{2L} (h_1 - h_2).$$

Тогда

$$Q_{nx} = A \left[h_1 x - \frac{x^2}{2L} (h_1 - h_2) \right], \quad (73)$$

а приращение промывного расхода по длине будет:

$$q_x = \frac{dQ_{nx}}{dx} = Ah_1 - \frac{Ax}{L} (h_1 - h_2) = Ah_1 \left[1 - \frac{x}{L} \frac{(h_1 - h_2)}{h_1} \right], \quad (74)$$

т. е. удельный промывной расход q_x по длине камеры должен уменьшаться и при $x=L$ он должен быть равен Ah_2 . При $h_2=0$ и удельный расход должен равняться нулю.

При практически получаемой интегральной кривой отложений не трудно установить h_2 , а следовательно, и удельный промывной расход в конце камеры q_2 . Предел уменьшения q_x будет устанавливаться конструкцией донной решётки и возможностью смыыва с неё наносов при данном удельном промывном расходе воды q_2 . Возможно, что по этим условиям придётся q_2 несколько увеличивать против потребного; это покажет конструирование решётки в каждом отдельном случае.

По величине промывного расхода в любом сечении донного канала Q_{nx} и по другим данным условиям промывки, например, по характеру изменения скорости или содержания наносов вдоль донного канала, не представляет затруднений установить кривую потерь напора вдоль донного канала.

Уклон пьезометрической линии в любом сечении x от начала донного канала будет:

$$I_x = \frac{v_x^2}{C_x^2 R_x}.$$

Если полагать, что сечение донного канала прямоугольное и высота и ширина изменяются (в общем случае) по длине x , то будем иметь на расстоянии x от начала канала ширину b_x и высоту a_x . Гидравлический радиус

$$R_x = \frac{a_x b_x}{2(a_x + b_x)}$$

и $C_x = \frac{R_x^{1/6}}{n}$ по Манингу.

Тогда

$$C_x^2 R_x = \frac{R_x^{4/3}}{n^2} \approx \frac{1}{2,5n^2} \left[\frac{a_x b_x}{(a_x + b_x)} \right]^{4/3}.$$

Подставляя в I_x , получаем:

$$I_x = 2,5n^2 v_x^2 \left[\frac{a_x + b_x}{a_x b_x} \right]^{4/3}.$$

$$J_x = \frac{dh_{wz}}{dx},$$

где h_{wz} — величина потерь от начала до сечения x . Тогда будем иметь дифференциальное уравнение пьезометрической линии в виде

$$dh_{wz} = 2,5n^2 \cdot v_x^2 \left[\frac{a_x + b_x}{a_x \cdot b_x} \right]^{4/3} dx. \quad (75)$$

Для интегрирования его необходимо установить закономерность изменения a_x , b_x и v_x . Если сечение донного канала сохранить постоянным по длине, то v_x , а вместе с ней и h_{wz} будет возрастать к концу канала, что иррационально, поскольку удельный промывной расход через решётку, как указано выше, должен уменьшаться к концу: это вызовет затруднения в конструировании донной решётки, поскольку h_{wz} определяет напор, под действием которого будет происходить протекание промывного расхода сквозь решётку. Обычно стремятся сохранить скорость течения v_x постоянной по длине, т. е. сечение канала в этом случае должно расти пропорционально промывному расходу $Q_{пх}$. Тогда относительные потери напора будут падать к концу канала, что значительно благоприятней для конструирования решётки.

Сохранение постоянной по длине канала v_x при постоянной величине содержания наносов в промывном потоке p_x (см. выше) несколько не соответствует условиям транспортирования наносов: при увеличении сечения и $v_x = \text{const}$ транспортирующая способность потока падает. Поэтому было бы правильнее с этой точки зрения скорость к концу промывного канала увеличивать. Но это вызовет известные затруднения в назначении закономерности изменения v_x по длине, поскольку не установлена пока ещё с достаточной достоверностью транспортирующая способность потока в функции от размеров его. Поэтому придётся принимать $v_x = \text{const}$, но назначить её величину по транспортирующей способности в конце канала. Или же при $v_x = \text{const}$ уменьшать к концу канала p_x , увеличивая несколько удельный промывной расход через решётку. Это, в свою очередь, улучшит условия её конструирования.

Рассмотрим случай $v_x = \text{const}$ и $p_x = \text{const}$. Учитывая также, что ширину донного канала b_x обычно делают постоянной по конструктивным соображениям, примем её тоже постоянной и равной b . Тогда высота сечения a_x может быть выражена через $Q_{пх}$:

$$a_x = \frac{Q_{пх}}{bv},$$

где b и v — постоянные величины.

Но из условия $p_x = \text{const}$ имеем $Q_{пх} = A \cdot G_x$
или

$$Q_{пх} = A \left[h_1 x - \frac{x^2}{2L} (h_1 - h_2) \right].$$

Подставляя это выражение в a_x , получим:

$$a_x = \frac{A}{bv} \left[h_1 x - \frac{x^2}{2L} (h_1 - h_2) \right] \quad (76)$$

$$dh_{wx} = \frac{2,5n^2 v^2}{b^{4/3}} \left[1 + \frac{b^2 v}{A \left[h_1 x - \frac{x^2}{2L} (h_1 - h_2) \right]} \right]^{4/3} dx$$

$$dh_{wx} = s \left[1 + \frac{k}{x - mx^2} \right]^{4/3} dx, \quad (77)$$

$$s = \frac{2,5n^2 v^2}{b^{4/3}} \quad k = \frac{b^2 v}{2Ah_1}$$

$$m = \frac{h_1 - h_2}{2Lh_1}$$

Интегрирование полученного уравнения возможно только приближенное: задаваться Δx (около 5 м) и определять Δh_w . Все вычисления удобно свести в таблицу следующей формы (табл. 58).

Таблица 58

Приращение Δx	Расстояние от начала x	Δh_w	h_{wx}
Δx	Δx	Δh_{w1}	Δh_{w1}
Δx	$2\Delta x$	Δh_{w2}	$\Delta h_{w1} + \Delta h_{w2}$
Δx	$3\Delta x$	и т. д.	и т. д.

Примечание. h_{wx} — полные потери до сечения x от начала.

В уравнение потерь напора в донном канале входит коэффициент шероховатости n , который следует брать с учётом насыщения потока наносами.

Поскольку теоретически вопрос о влиянии содержания наносов на сопротивление движению потока не разработан, придётся пользоваться результатами некоторых опытных исследований.

Исследования ЦНИИВТ (55) по транспорту песка и глины по трубам позволяют принять коэффициент сопротивления для гидромассы, при небольшом обычно проценте наносов в промывном потоке (до 10% по весу), превышающим коэффициент сопротивления для чистой воды λ_0 на 15—20%, т. е., беря наибольший процент, будем иметь:

$$\lambda_n = 1,20 \lambda_0$$

Так как λ выражается через коэффициент Шези в виде

$$\lambda = \frac{8g}{C^2},$$

то

$$C_n = \sqrt{\frac{1}{1,20}} C_0 \approx 0,9 C_0.$$

где C_n и C_0 — коэффициенты Шези для гидромассы и чистой воды.

Если C взять по формуле Маннинга, то получим соотношения коэффициентов шероховатости:

$$n_n = 1,11 \cdot n_0,$$

где n_n и n_0 — коэффициенты шероховатости для гидромассы и чистой воды.

По исследованиям с промывкой наносов (песка) по шахтам отстойника нашей системы (наложенным ниже) получена зависимость коэффициента расхода для гидромассы μ_c от содержания наносов в ней в виде:

$$\mu_c = \frac{0,85}{\sqrt[3]{p}} \mu_b, \quad (78)$$

где p — процент наносов в потоке по весу,

μ_b — коэффициент расхода для чистой воды.

При

$$p = 10\% \quad \frac{\mu_c}{\mu_b} = 0,756.$$

Здесь μ — коэффициент в формуле

$$v = \mu \sqrt{2gz},$$

учитывающий вес сопротивления по длине трубопровода. В формуле z равняется h_w потерям в трубопроводе. Но

$$h_w = \alpha \frac{v^2 L}{C^2 R},$$

если коэффициентом α учесть местные потери. С другой стороны,

$$h_w = \frac{v^2}{\mu^2 2g}.$$

Приравнявая, получим:

$$\mu = \sqrt{\frac{R}{2g^2 L}} C.$$

Следовательно, имеем равенство $\frac{\mu_c}{\mu_b} = \frac{C_n}{C_0}$, поскольку $\sqrt{\frac{R}{2g^2 L}} = \text{const}$ для данного трубопровода и не зависит от насыщения потока, если пренебречь влиянием насыщения на величину местных потерь.

Наши исследования, значит, приводят к соотношению $\frac{C_u}{C_a} = 0,76$, что даёт соотношение между коэффициентами шероховатости $n_n = 1,3n_0$ ¹ при насыщении потока наносами до 10% по весу. При меньших насыщениях это соотношение коэффициентов шероховатости можно устанавливать, пользуясь нашей формулой для μ_s .

Значительно более сложным вопросом является установление необходимой скорости в донном канале. Все расчёты по потерям напора действительны при условии, если наносы транспортируются во взвешенном состоянии, поскольку данные для расчёта базируются на исследованиях с полностью взвешенными наносами. Поэтому необходимо задаваться скоростью в донном канале, обеспечивающей взвешивание наносов при данном их содержании. Если начинается частичное выпадение наносов и транспортирование их по дну, то сопротивление, а с ним и потери напора в районе отложений наносов резко возрастут.

Это может обусловить забивку донного канала, поскольку в нём сократится расход воды и уменьшатся скорости. Выпадение наносов в конце донного канала менее опасно, поскольку возросшим выше по течению напором (при уменьшении расхода) они вновь могут быть смыты, так как увеличатся скорости воды в опасном сечении.

Отложения же в начале донного канала могут обусловить полную забивку всей верхней части его и решётки, так как расход через решётку ниже места отложений сильно возрастёт из-за понижения давления в нижней части донного канала, а расход через входное отверстие и верховую часть решётки сократится, и тем усилятся занесение этих частей промывного устройства.

Установление необходимой скорости течения в донном канале пока не может быть произведено на основе достаточно точно обосновывающих её величину данных.

Поэтому следует промывную скорость принимать с известным запасом. А в процессе эксплуатации она может быть уточнена и расход воды на промыв сокращён до предела путём регулирования затворами. Предельная промывная скорость должна повышаться с увеличением насыщения потока.

Промывную скорость в донном канале следует брать вообще не ниже 1,5 м/сек. При насыщенности же промывного потока около 10% по весу скорость следует брать не меньше 2,0 м/сек.

На основании уравнения потерь напора в донном промывном канале (формула 77) производится расчёт отверстий решётки по длине канала по расходам воды через неё q_x (формула 74).

Если обозначить через f_x сумму всех отверстий решётки на 1 пог. м её длины в данном месте, то будем иметь:

$$q_x = \mu \cdot f_x \sqrt{2gh_{wz}}.$$

¹ Это соотношение с известной осторожностью можно рекомендовать принимать в расчётах.

Отсюда по найденным ранее q_x и h_{wx} получим:

$$f_x = \frac{q_x}{\mu \sqrt{2bh_{wx}}}$$

Коэффициент расхода отверстий решётки, μ для данного случая пока не установлен. Его придётся назначить приблизительно, ориентируясь на имеющиеся данные по коэффициентам расхода для различных случаев истечения через отверстия.

Учитывая форму отверстий в решётке (рис. 178), полагаем, что μ можно принимать в пределах 0,75—0,80.

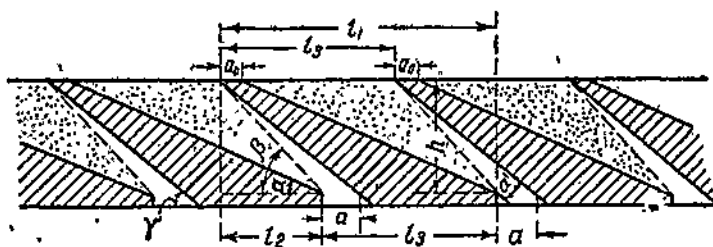


Рис. 178. Теоретическая схема донной решетки отстойника Дюфура.

Число отверстий решетки n на 1 пог. м будет зависеть от ширины донного канала b , от толщины решетки и от формы самих спиц.

По условию работы отстойника при периодической и непрерывной промывке наносов спицы донной решетки должны иметь такую форму, которая бы гарантировала от завала наносами донный канал при переходе к периодической промывке, а при непрерывной промывке обеспечивала бы лёгкий смыл с неё выпадающих наносов. Указанная форма спиц дана на рисунке 178.

Здесь наклон верхней грани спицы к горизонту (под углом α) должен гарантировать несползание наносов в щель, а наклон нижней грани (под углом γ) должен обеспечивать против забивки наносами самой решетки, т. е. гарантировать некоторое свободное пространство между поверхностью наносов и нижней гранью спиц. Для этого необходимо, чтобы углы α и γ были меньше угла естественного откоса наносов β и угол α меньше угла γ . Величина просвета решетки a определится через h и углы γ и β в виде

$$a = h (\operatorname{ctg} \gamma - \operatorname{ctg} \beta). \quad (79)$$

Расчётное отверстие решетки

$$a' = a \sin \gamma.$$

Расстояние между отверстиями решетки l_2 будет:

$$l_2 = l_1 - l_2 = h (\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{ctg} \beta) + a_0. \quad (80)$$

Тогда число отверстий на 1 пог. м решётки n будет равно: $\frac{1}{l_a}$

$$af_x = n \cdot a' \cdot b.$$

Углы α , β и γ ориентировочно можно принимать в таких пределах:

$$\alpha = 20-30^\circ$$

$$\beta = 35-38^\circ$$

$$\gamma = 30-35^\circ.$$

Соответствующим подбором углов α и γ , толщины решётки h и величины a_0 можно всегда получить удовлетворительное разрешение конструирования решётки. При конструировании решётки необходимо также провести проверку на смыл отлагающихся на ней наносов, определяя скорость входа в отверстие решётки и сопоставляя её с размывающей скоростью для наносов. Если бы встретились затруднения в этом при постоянной ширине донного канала b , то не представит особых затруднений сделать b переменной по длине камеры. Это внесёт изменения и в самое уравнение потерь напора.

Подобного рода расчёты могут быть проведены и при других условиях промыва, например, при v_x и p_x , изменяющихся по длине канала в зависимости от ряда поставленных условий. Но это не внесёт ничего принципиально нового в расчёты промывки и конструирования решёток.

Таким методом расчёта уже учитывается увеличение промывного расхода к началу отстойника и нет необходимости вводить ещё дополнительный расход через входное отверстие донного канала. Входное отверстие следует лишь учесть при конструировании донной решётки в начале отстойника, поскольку здесь теоретически просветы должны быть сильно увеличены. За счёт некоторого уменьшения этих просветов и следует устроить входное отверстие, учтя лишь возможную крупность донных наносов—галёк, промыв которой предусматривается данной системой отстойника. Но не представляет затруднений провести аналогичный расчёт и при наличии некоторого постоянного входного расхода воды в донный промывной канал.

Расчёт промывки отстойника системы Д. Я. Соколова

В системе Соколова расчёт промывки сводится к установлению:

а) величины полного промывного расхода и соотношения расходов в отдельных промывных шахтах в зависимости от характера выпадения наносов вдоль отстойника;

б) необходимых скоростей течения в шахтах и величины перепада, обеспечивающего эти скорости;

в) размеров сечения шахт и входных донных отверстий;

г) расстояний между шахтами или донными отверстиями, обеспечивающих полный смыл со дна выпадающих в отстойнике наносов.

Величина полного промывного расхода будет зависеть от ряда обстоятельств и в первую очередь от количества и состава выпадающих в отстойнике наносов. Вообще необходимо стремиться к воз-

можно меньшему промывному расходу, поскольку он увеличивает скорость в отстойнике, а при расположении на деривации требует увеличения пропускной способности её. Но не следует допускать чрезмерной концентрации наносов в промывном потоке, так как это, сокращая промывной расход, требует значительного повышения скоростей в шахтах, что, в свою очередь, обуславливает увеличение потерь напора в них — перепада z .

При сбросе промывной воды из шахт непосредственно в реку это обстоятельство не столь существенно, так как потери в шахтах измеряются лишь десятными долями метра. Но при многокамерном отстойнике (рис. 73), когда наносы придётся транспортировать из шахт по собирательным лоткам и общей промывной галлерее, эти потери могут достичь таких размеров, которые создадут затруднение в промывке в период наводка вследствие подтопления галлерей со стороны нижнего бьефа.

Часто встречающиеся в практике условия работы отстойников позволяют наметить такие ориентировочные пределы концентрации наносов в промывном потоке рассматриваемого типа отстойника.

Если подсчитать Q_n расход промывного потока по формуле:

$$p_n = p_0 + \frac{Q_0(p_0 - p_1)}{Q_n},$$

полагая с известным запасом $p_1 = 0$, получим результаты для разных p_0 и p_n содержания наносов в реке и в промывном потоке, приводимые в таблице 59.

Таблица 59

При содержании наносов в промывном потоке p_n (%)	Промывной расход Q_n в процентах от полезного Q при		
	$p_0 = 1\%$	$p_0 = 0,5\%$	$p_0 = 0,1\%$
2	4,0	33	5,3
3	50	20	3,8
5	25	14	2,0
8	14	6,7	1,3
10	11	5,3	1,0

Примечание. p_0 — содержание наносов в речном потоке.

Здесь p_0 характеризует количество отлагающихся наносов. Как видим, оно весьма существенно влияет на величину полного промывного расхода. Чем больше p_0 , тем, очевидно, следует принимать и большую концентрацию наносов в промывном потоке. При $p_0 = 1\%$, очевидно, не следует p_n брать ниже 5% . А для отдельных шахт он может получиться ещё несколько выше. Тогда Q_n будет составлять до 25% от полезного расхода. При меньшем содержании наносов в реке промывной расход может быть значительно снижен.

При установлении промывного расхода следует учесть расстановку шахт и донных отверстий. Для получения столь высокой concentra-

ции донные отверстия придётся расположить редко, так что они могут не обеспечить смыва наносов на всём протяжении отстойника. В таких случаях для увеличения расстояния между донными отверстиями придётся прибегнуть к устройству поперечных скатов с углом наклона плоскостей в 45° (рис. 179). Особенно это будет необходимо в низовой части отстойника, где отложения наносов значительно уменьшаются. Если это вызовет известные конструктивные затруднения, то придётся p_n уменьшить, увеличив промывной расход.

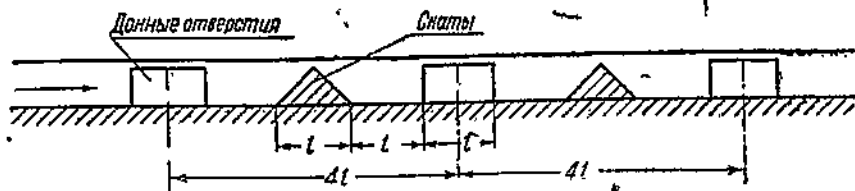


Рис. 179. Разрѣз дна вдоль отстойника системы Д. Я. Соколова.

При малом содержании наносов в речном потоке, очевидно, следует уменьшать и концентрацию их в промывном потоке, чтобы избежать тех же затруднений, что и выше, при расположении донных отверстий вдоль отстойника. Для решения вопроса необходимо просчитать несколько вариантов при разных p_n . При этом длина отстойника при установлении полного промывного расхода также будет играть существенную роль, поскольку она будет требовать большего числа шахт. Но длина отстойника будет зависеть от скорости течения и от глубины воды в нём при данном составе наносов. Поэтому при расчёте по разным вариантам необходимо учесть и эти обстоятельства, позволяющие регулировать до известной степени длину отстойника.

При установлении промывного расхода в отдельных шахтах нет необходимости добиваться одинаковой насыщенности его наносами во всех шахтах, поскольку представляется возможность перепады z в них принимать разные—это конструктивно вполне осуществимо.

Точно так же и промывные расходы в отдельных шахтах могут быть разные и даже целесообразно в первых по течению шахтах промывной расход брать больше, чем в последующих, поскольку в начале отстойника выпадает значительно больше наносов. Можно рекомендовать даже при весьма интенсивном выпадении наносов в начале первые шахты выполнять в виде сифонов. Всё это может обусловить и разные размеры сечений шахт и разные расстояния между ними, что не внесёт особых конструктивных затруднений.

Расчёт промывных шахт и расстояния между ними

Поскольку не было данных для расчёта транспортирующей способности шахт и потерь напора в них при известном содержании наносов в потоке, нами в 1935 г. были предприняты специальные опыты по изучению работы шахт (1-я серия опытов). Одновременно была

исследована и область смыва наносов входными (донными) отверстиями шахт с целью установления необходимого расстояния между шахтами (2-я серия опытов).

Не останавливаясь здесь на методике постановки исследований¹, отмечу лишь, что расходы воды в шахте достигали 3 л/сек., скорости — 1 м/сек. и содержание наносов (песка) — около 4% по весу.

Опытами установлено, что при скорости в шахте, недостаточной для полного взвешивания наносов, начинались отложения их на наклонной части шахты (рис. 180), что сопровождалось увеличением сопротивления и уменьшением расхода воды, а это, в свою очередь, могло обусловить дальнейшее отложение наносов и окончательную забивку шахты.

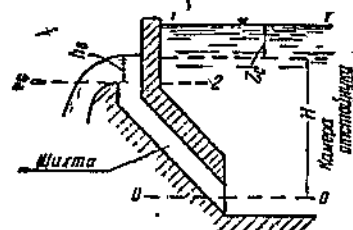


Рис. 180. Разрез промывной шахты отстойника системы Д. Я. Соколова.

Поэтому нами принимались во внимание лишь случаи полного проноса наносов без отложений их в шахте. Для установления того, что мы имеем действительно предельное состояние потока в смысле полного взвешивания наносов, нами всегда констатировались условия протекания для двух состояний наносного потока: 1) без отложений наносов в шахте и 2) с незначительными отложениями их при некотором, очень малом, уменьшении скорости в шахте. Для обоих состояний констатировались: расход гидромассы (смеси) в шахте Q_c , содержание наносов в ней p и потери напора в шахте z_c при потоке с наносами и z_n — при чистой воде. Наблюдения для второго состояния являлись контрольными, поскольку они давали значения измеряемых величин, весьма близкие к ним для первого состояния (полного проноса наносов). Начало отложений, наблюдаемое для второго состояния, не являлось опасным в отношении забивки шахты: оно лишь определяло переход к новому состоянию наносного потока. Для забивки шахты требовалось ещё дальнейшее и более значительное уменьшение скорости. Это состояние шахты нами также фиксировалось каждый раз, но оно не нашло отражения в результатах, использованных для получения расчётных зависимостей.

Отметим лишь, что вообще для забивки шахты наносами необходимо было скорость в ней уменьшать в $1\frac{1}{2}$ —2 раза против предельной (критической). Таким образом, расчёт шахты базируется на результатах, обеспечивающих значительную надёжность их работы.

Обработка материалов была произведена на основе следующей теории расчёта шахты.

Обозначим:

Q и Q_c — расходы в шахте чистой воды и с наносами (м³/сек.);

v_n и v_c — скорости в шахте при чистой воде и с наносами (м/сек.);

z_n и z_c — потери напора в шахте при чистой воде и при наличии наносов (м);

γ и γ_c — удельные веса воды и гидромассы (смеси);

γ_n — удельный вес наносов;

p и k — проценты и доля наносов в потоке по весу $p = 100$ к;

μ_z и μ_c — коэффициенты расхода шахты при чистой воде и при наличии наносов;

H — расстояние от горизонта воды на водосливе шахты до середины высоты донного отверстия шахты (рис. 180).

В единице объёма воды содержится наносов:

по весу $k\gamma$ кг

по объёму (плотному) $\frac{k\gamma}{\gamma_n}$ м³.

Тогда объём смеси единицы объёма воды и соответствующего количества наносов будет:

$$\left(1 + \frac{k\gamma}{\gamma_n}\right) \text{ м}^3.$$

Вес смеси $\gamma(1 + k)$ кг.

Удельный вес гидромассы тогда получим:

$$\gamma_c = \frac{\gamma(1+k)}{1+k \frac{\gamma}{\gamma_n}} = \frac{\gamma_n \gamma (1+k)}{\gamma_n + k\gamma} \quad (81)$$

Так как в камере отстойника вода практически чистая, а в шахте она насыщена наносами, то для гидростатического равновесия необходимо иметь некоторое превышение уровня воды в камере над уровнем в шахте. Обозначим это превышение через Δz .

Тогда

$$\Delta z = \left(\frac{\gamma_c}{\gamma} - 1\right) H = (m - 1) H, \quad (82)$$

где

$$m = \frac{\gamma_c}{\gamma}.$$

Из формулы скорости чистой воды при протекании её через шахту имеем:

$$v_B = \frac{v_B^2}{\mu_B^2 2g},$$

где

$$\mu_B = \sqrt{\frac{1}{\Sigma \zeta}} \text{ и } \Sigma \zeta - \text{сумма коэффициентов потерь напора}$$

в шахте — на вход, трение, изгиб и выход.

Если принять для опытной шахты

на вход $\zeta_1 = 0,5$

на выход $\zeta_2 = 1,0$

при угле поворота шахты вверх $\theta = 50^\circ$, коэффициент потерь, по Вейсбаху, будет $\zeta_3 = 0,24$; при коэффициенте шероховатости шахты

$n=0,012$ коэффициент потерь на трение будет $\zeta_4=0,62$. Тогда теоретическая сумма коэффициентов потерь получится равной $\Sigma\zeta=2,36$. Опытная величина этой суммы получилась $\Sigma\zeta=2,33$.

Для получения выражения z_c для гидромассы составим уравнение энергии для двух сечений 1—1 и 2—2 (рис. 180).

Скорость в сечении 1—1 считаем равной нулю.

За плоскость сравнения принимаем 0-0.

Тогда будем иметь:

$$\gamma Q (H + z_c) = \gamma_c Q_c \left(H + \frac{v_c^2}{\mu_c^2 2g} \right).$$

Здесь потери учтены коэффициентом расхода смеси μ_c . Отсюда находим z_c :

$$z_c = \left(\frac{\gamma_c Q_c}{\gamma Q} - 1 \right) H + \frac{\gamma_c Q_c}{\gamma Q} \frac{v_c^2}{\mu_c^2 2g}$$

или

$$z_c = (m_1 - 1) H + m_1 \frac{v_c^2}{\mu_c^2 2g}, \quad (83)$$

где

$$m_1 = \frac{\gamma_c Q_c}{\gamma Q}.$$

При нанесении результатов наблюдений на график можно установить прямолинейную зависимость вида $z_c = f(v_c^2)$. Первый член в формуле (83) $(m_1 - 1)H$ представляет величину напора, необходимую для уравновешивания смеси в шахте вследствие несколько большего её удельного веса. Учитывая, что $Q_c \approx Q$, получим:

$$(m_1 - 1)H = (m - 1)H = \Delta z.$$

Тогда потери, необходимые для протекания смеси через шахту, будут равны $(z_c - \Delta z)$, и выражение для скорости смеси примет вид

$$v_c = \mu_c \sqrt{\frac{2g(z_c - \Delta z)}{m_1}}, \quad (84)$$

аналогичный с тем, какой имеем и для чистой воды. Отсюда находим:

$$\mu_c = v_c \sqrt{\frac{m_1}{2g(z_c - \Delta z)}}. \quad (85)$$

По этой формуле и определялся из опытов коэффициент μ_c . Если взять отношение $\frac{\mu_c}{\mu_n}$, то оно может являться функцией содержания и состава промываемых наносов.

Опыты проводились со следующими фракциями песка; 0,1—0,25, 0,3—0,5; 0,5—1,0 и 1,0—1,5 мм. При нанесении опытных точек

по зависимости $\mu_c = f(p)$ оказалось, что для всех фракций может быть дана одна общая зависимость, выражаемая с известным приближением формулой (рис. 181):

$$\mu_c = \frac{0,85}{\sqrt[3]{p}} \quad (86)$$

По этой формуле получается, что при $p \approx 0,04\%$ $\mu_c = \mu_n$. Следовательно, поправку в коэффициент расхода μ следует вводить при

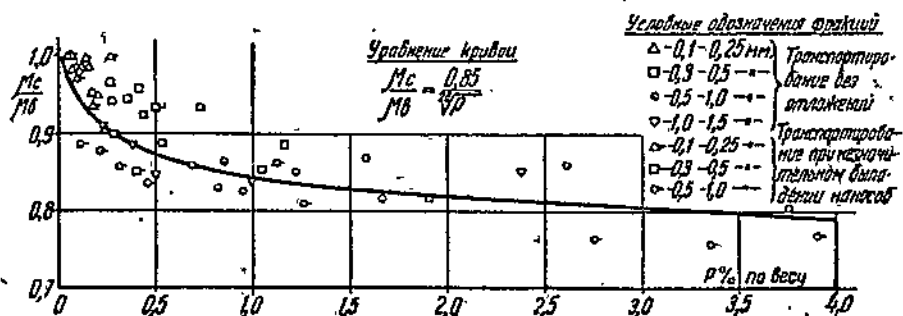


Рис. 181. Зависимость коэффициента расхода промывной шахты μ_c от насыщенности потока наносами p в процентах по весу.

содержании наносов в промывном потоке $p > 0,04\%$. Для установлений скорости в шахте v_c , обеспечивающей полное взвешивание наносов, нами получена на основе тех же материалов зависимость (рис. 182):

$$v_c = 60 \sqrt[3]{p} \text{ см/сек.}$$

при коэффициенте шероховатости шахты $n = 0,012$. Если коэффициент шероховатости в натуре будет тот же, что и в модели, то скорость v_c следует повышать, учитывая известное влияние шероховатости на взвешивание наносов. Гидравлический радиус также оказывает влияние на коэффициент трения, а следовательно, и на турбулентность и взвешивающую способность потока. Поэтому при переходе к натуре целесообразно получаемую по приводимой формуле скорость в шахте увеличивать.

Поскольку этот вопрос требует ещё дополнительных исследований, полагаем, что для натуре v_c надо увеличивать процентов на 50.

Таким образом, на основании трёх формул: 84, 86 и 87 — производится расчёт шахты, т. е. определяется v_c , а значит и расход воды, и перепад z_0 при заданных размерах сечения шахты, которые, в свою очередь, определяются в зависимости от расстояния между ними.

Расстояние между донными отверстиями может быть установлено на основании специальных опытов по смыву наносов одним донным отверстием.

Опыты проводились с теми же четырьмя фракциями песка, какие были и в опытах с шахтами.

В результате сравнительно многочисленных опытов можем предложить следующий метод расчёта расстояний между донными отверстиями и одновременно ширины горизонтальной площадки перед ними в поперечном сечении камеры.

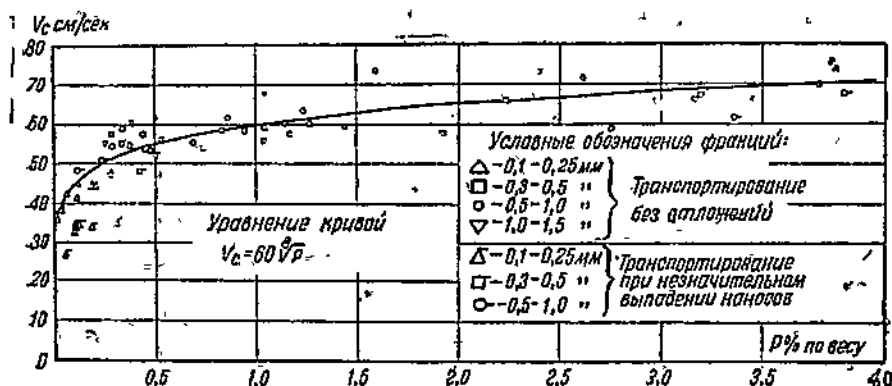


Рис. 182. Зависимость критической внешней скорости в промывной шахте v_c от насыщения потока наносами p в процентах по весу.

Размеры области размыва наносов перед отверстием (рис. 184) характеризуются предельными размывающими скоростями для наносов, лежащих на откосе. Поэтому дренаже всего и необходимо было установить ту среднюю скорость потока, при которой прекращается размыв наносов. С этой целью нами и определена была площадь смыва в плане по поверхности наносов (сечение 1-1) и средняя скорость потока в этом сечении v_n

$$v_n = \frac{Q}{\Omega}$$

Оказывается, что v_n составляет небольшую долю от размывающей скорости наносов v_p : около $0,25 \cdot v_p$.

При этом v_n несколько повышается с увеличением промывной скорости в шахте v . Отношение же $\left(\frac{v_n}{v_p}\right)$ не зависит существенно от размера фракции. Поэтому с целью исключения в дальнейшем переменной величины d (диаметра фракции наносов) нами и введено это отношение $\left(\frac{v_n}{v_p}\right)$, позволяющее объединить результаты наблюдений по всем четырём фракциям в одну общую зависимость.

На величину зоны смыва наносов, несомненно, влияет и промывной расход воды в шахте, а при заданном сечении шахты переменной будет скорость в шахте v .

Чтобы получить безразмерную величину, дающую возможность экстраполировать для природы, удобно ввести не v , а отношение её к размывающей скорости для наносов $\left(\frac{v}{v_p}\right)$.

Таким образом, полученная зависимость двух величин $\left(\frac{v_n}{v_p}\right)$ и $\left(\frac{v}{v_p}\right)$ даст нам возможность по скорости в шахте и по характе-

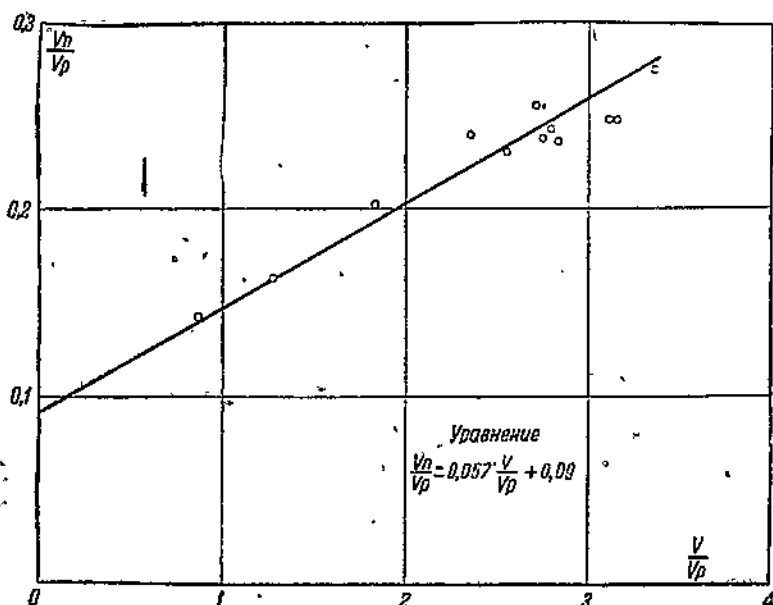


Рис. 183.

ристике наносов (v_p) определять v_n , а по этой последней и по промывному расходу устанавливать величину области смыва наносов с поверхности их отложений Ω .

На рисунке 183 нанесена зависимость $\left(\frac{v_n}{v_p}\right) = f\left(\frac{v}{v_p}\right)$ на основе опытных данных (табл. 60). Она может быть выражена в виде прямой линии¹.

$$\frac{v_n}{v_p} = 0,0573 \frac{v}{v_p} + 0,092. \quad (69a)$$

¹ В этом уравнении v — скорость в шахте. В уравнении же (69) имеется в виду скорость в донном отверстии. При угле наклона шахты около 40° коэффициент при $\frac{v}{v_p}$ в уравнении (69) увеличится. С округлением он и принят там равным 0,07.

Форма площади смыва Ω в плане в качестве примера приведена на рисунке 184. Очертание границ смыва может быть принято по эллипсу с большим диаметром в плоскости промывных отверстий. Диаметры эллипса нами обозначены — больший через $2a$, меньший через $2b$.

Вся поверхность смыва Ω представляет половину площади эллипса и, следовательно, будет равна:

$$\Omega = \frac{\pi ab}{2}.$$

В дальнейшем представляет интерес установление соотношения $\left(\frac{a}{b}\right)$ в зависимости от промывного расхода (или промывной ско-

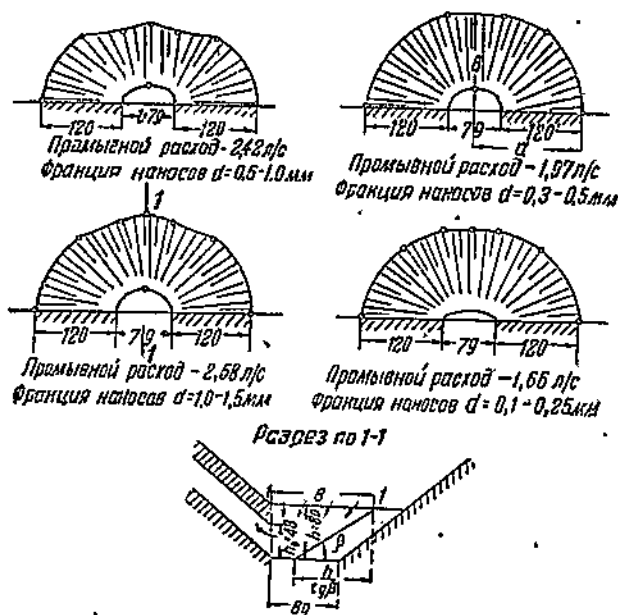


Рис. 184. Зоны смыва наносов одним донным отверстием при различных промывных расходах и фракциях наносов (размеры в сантиметрах).

рости в шахте), диаметра фракций и ширины донного отверстия. В опытах размеры отверстия не менялись. Способ учёта изменения ширины отверстия изложен ниже.

Для принятого же соотношения размеров донного отверстия нами построена зависимость $\left(\frac{a}{b}\right) = f(v)$ по опытным данным (рис. 185).

Отсюда можем видеть, что с увеличением промывной скорости в шахте отношение $\left(\frac{a}{b}\right)$ стремится к 1,10 при $v = 1,2$ м/сек.

Опытные данные по промывке одним отверстием

Диаметр фракции (мм)	Размыва- ющая скорость v_p (м/сек.)	Про- мывной расход Q_n (л/сек.)	Оси эллипса смыва на по- верхности отложений		Пло- щадь смыва полу- эллипса Ω (м ²)	Размыва- ющая ско- рость для наносов на отnose v_n (м/сек.)	Скорость в про- мывном отверстии $v_{от}$ (м/сек.)	$\frac{v_n}{v_p}$	$\frac{v_{от}}{v_p}$
			a (см)	b (см)					
0,1—0,25	0,175	1,405	16,25	13,5	0,0345	0,0408	0,38	0,239	2,17
0,1—0,25	0,175	1,275	16,2	12,5	0,0317	0,0402	0,345	0,230	1,97
0,1—0,25	0,175	1,66	16,3	13,7	0,035	0,0474	0,448	0,271	2,56
0,3—0,5	0,22	0,541	13,5	8,0	0,017	0,0318	0,146	0,144	0,664
0,3—0,5	0,22	1,71	16,1	13,0	0,0328	0,052	0,462	0,236	2,1
0,3—0,5	0,22	1,97	16,25	14,2	0,0362	0,0544	0,532	0,247	2,42
0,5—1,0	0,26	0,93	14,0	10,0	0,022	0,0424	0,251	0,168	1,44
0,5—1,0	0,26	1,36	15,0	11,0	0,026	0,0524	0,368	0,202	1,67
0,5—1,0	0,26	1,98	15,8	12,0	0,030	0,0666	0,536	0,256	2,44
0,5—1,0	0,26	2,42	16,0	12,0	0,030	0,0808	0,655	0,311	2,98
1,0—1,5	0,285	1,88	14,6	12,0	0,0275	0,0686	0,508	0,244	1,78
1,0—1,5	0,285	2,26	15,5	13,5	0,0328	0,0686	0,611	0,242	2,14
1,0—1,5	0,285	2,58	16,0	14,6	0,0366	0,0704	0,698	0,247	2,45

По теории источника точки при равномерном притекании воды со всех сторон форма площади смыва должна быть кругом, а при одностороннем притекании воды к отверстию (в углу 90°) — полу-

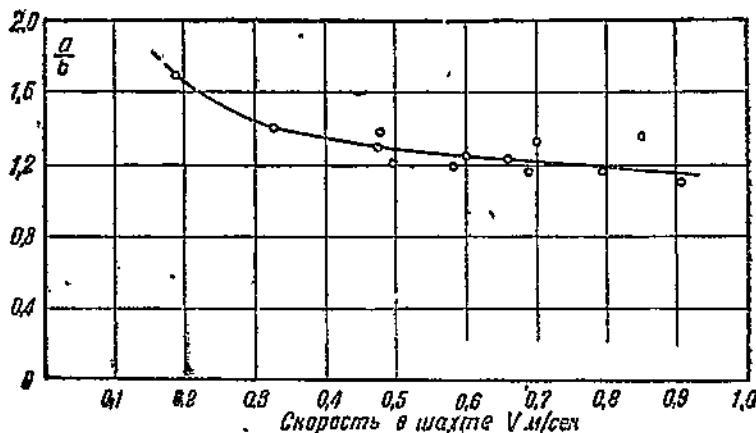


Рис. 185.

кругом. Следовательно, эллиптическая форма площади смыва получается вследствие растянутой формы отверстия (отрицательного источника). Принимая отношение $\left(\frac{a}{b}\right) \approx 1,1$, получим площадь смыва:

$$\Omega = \pi \frac{ab}{2} = \frac{1,1\pi}{2} b^2.$$

Из уравнения (69) находим:

$$v_n = 0,0573v + 0,092v_p$$

и так как

$$\Omega = \frac{Q}{v_n}, \text{ то } \frac{1,1\pi}{2} b^2 = \frac{Q}{0,0573v + 0,092v_p}$$

или

$$b = \sqrt{\frac{100Q}{9,9v + 15,9v_p}}$$

Для возможности перекоса в натуре этой формулы необходимо сюда ввести толщину слоя наносов h , так как от неё зависит величина полной площади смыва Ω : чем толще слой наносов, тем больше будет Ω . Это объясняется тем, что наносы имеют определённый предельный угол естественного откоса в воде при действии на них потока в направлении откоса (рис. 184).

По проведённым нами замерам угол естественного откоса песка колебался в пределах $30-34^\circ$. В среднем его можно принять равным $\beta = 33^\circ$. Такой же угол β был получен проф. Палкуевым при испытаниях водоприёмника Гивельдонской гидростанции¹.

При известном угле β и при толщине слоя наносов в модели $h = 8$ см для любой толщины слоя наносов h перед промывным отверстием (h считается от порога донного отверстия) величина b может быть вычислена таким образом:

$$b = \sqrt{\frac{100Q}{9,9v + 15,9v_p}} - \frac{0,08}{\operatorname{tg} \beta} + \frac{h}{\operatorname{tg} \beta}$$

или

$$b = \sqrt{\frac{100Q}{9,9v + 15,9v_p}} + \frac{h - 0,08}{\operatorname{tg} \beta}$$

и при $\beta = 33^\circ$, $\operatorname{tg} \beta \approx 0,65$ имеем:

$$b = \sqrt{\frac{100Q}{9,9v + 15,9v_p}} + 1,54h - 0,123 \text{ м.}$$

Учитывая, что в натуре h будет величиной, достигающей иногда нескольких метров, можем пренебречь последним членом правой части выражения.

Кроме того, учитывая некоторую приближённость формулы, можем её несколько упростить без существенного влияния на точность решения.

¹ См. проф. Палкуев и инж. Гвоздев. Испытание входных частей водозахватно-сбросных сооружений Гивельдонской гидроэлектрической станции. Труды ВНИИГМ, т. IX, 1933.

Окончательно имеем:

$$b = \sqrt[3]{\frac{10Q}{v + 1,6v_p}} + 1,5h_m. \quad (88)$$

Эта формула действительна для соотношения размеров донного отверстия около $\frac{l}{h_0} = 1,65$, где h_0 — высота и l — ширина отверстия.

Так, например, при $Q = 1 \text{ м}^3/\text{сек.}$, $v = 3 \text{ м/сек.}$ $v_p = 0,5 \text{ м/сек.}$ и $h = 1,0 \text{ м}$ величина b получается по несокращённой формуле — 3,05 м, по сокращённой 3,12 м, что, конечно, в пределах точности предлагаемого решения.

По найденному b определяется и величина a из выражения $a = 1,1b$.

Найденные величины a и b позволяют уже наметить предельное расстояние между отверстиями, которое, очевидно, не должно превышать $2a$.

Для возможности широкого применения полученного метода расчёта зоны смыва наносов и расстояний между промывными отверстиями необходимо ещё учесть влияние ширины донного отверстия — l .

Очевидно, с увеличением l соотношение $\frac{a}{b}$ изменится. Полагаем, что общая площадь смыва Ω при сохранении промывного расхода Q постоянным также останется неизменной, поскольку она определяется скоростью v_n , характеризующей составом наносов.

Установим из принятого соотношения $\frac{a}{b} = 1,1$ величину смыва наносов в боковом направлении (в плоскости отверстия). Обозначим величину этого смыва от края отверстия через c .

Тогда

$$a = c + \frac{l}{2}; \quad \frac{a}{b} = \frac{2c + l}{2b} = 1,1,$$

отсюда

$$c = 1,1b - \frac{l}{2}.$$

При $\frac{l}{2} = 3,95 \text{ см}$ ($\sim 0,04 \text{ м}$) получим:

$$c = 1,1b - 0,04$$

и

$$a = 1,1b - 0,04 + \frac{l}{2} \text{ м}, \quad (89)$$

где l — любое задаваемое значение ширины отверстия.

В этом случае определение основных размеров эллипса вымыва наносов на поверхности может быть произведено так.

Полная площадь смыва Ω определится из условия:

$$\Omega = \frac{400Q}{5,73v + 9,2v_p} \quad (90)$$

при толщине слоя наносов $h = 0,08$ м.

Далее имеем:

$$\Omega = \frac{\pi ab}{2} = \frac{\pi b \left(\frac{l}{2} + \frac{l}{2} - 0,04 \right)}{2}.$$

Отсюда получаем:

$$\frac{4,1\pi}{2} b^2 + \left(\frac{l}{2} - 0,04 \right) \frac{\pi b}{2} - \Omega = 0$$

или

$$b^2 + \frac{\left(\frac{l}{2} - 0,04 \right) b}{4,1} - \frac{2\Omega}{\pi 4,1} = 0.$$

Обозначив

$$\frac{\frac{l}{2} - 0,04}{4,1} = m \quad \text{и} \quad \frac{2\Omega}{\pi 4,1} = n,$$

найдем:

$$b = -\frac{m}{2} + \sqrt{\frac{m^2}{4} + n},$$

или

$$b = \frac{m}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{4n}{m^2}} - 1 \right),$$

где

$$\frac{4n}{m^2} = \frac{11,2\Omega}{(l - 0,04)^2} \quad \text{и} \quad m = \frac{l - 0,08}{2,2}.$$

Для любой толщины слоя наносов h , аналогично предыдущему, получим:

$$b = \frac{m}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{4n}{m^2}} - 1 \right) - 0,12 + 1,54 h,$$

или, упрощая, как и выше, имеем окончательно:

$$b = \frac{m}{2} \left(\sqrt{1 + \frac{4n}{m^2}} - 1 \right) + 1,5h \text{ м.}$$

При l , составляющем обычно величину 1 м и выше, можно m и n упростить, пренебрегая относительно малой величиной ширины отверстия в модели (0,04 м):

$$m = 0,455l \quad \text{и} \quad \frac{4n}{m^2} = \frac{11,2\Omega}{l^2}.$$

осле подстановки этих значений в выражение для b получим:

$$b = 0,23 l \left[\sqrt{1 + \frac{11,2Q}{l^2}} - 1 \right] + 1,5 h_m \quad (91)$$

для любой формы донного отверстия.

Пример. Промывной расход $Q = 5 \text{ м}^3/\text{сек.}$, размывающая скорость для наносов $v_p = 1 \text{ м/сек.}$ Размеры промывного отверстия: высота $h_0 = 0,7 \text{ м}$; ширина $l = 2,2 \text{ м}$.

Скорость в отверстии

$$v = \frac{Q}{2,2 \cdot 0,7} = 3,26 \text{ м/сек.}$$

Толщина слоя наносов $h = 1,5 \text{ м}$.

коэффициент:
$$\Omega = \frac{100Q}{5,73v + 9,2v_p} = 17,3 \text{ м}^2$$

$$b = 0,23 \cdot 2,2 \left[\sqrt{1 + \frac{11,2 \cdot 17,3}{2,2^2}} - 1 \right] + 1,5 \cdot 1,5 = 4,98 \text{ м}$$

$$a = 1,1b + \frac{l}{2} - 0,04 = 6,54 \text{ м.}$$

При донном отверстии с соотношением сторон $\frac{l}{h_0} = 1,65$ по первой формуле получим:

$$b = \sqrt{\frac{10Q}{v + 1,6v_p}} + 1,5h = 5,46 \text{ м}$$

$$a = 1,1b = 6,01 \text{ м,}$$

т. е. с уменьшением ширины донного отверстия размыв увеличивается в нормальном и уменьшается в боковом направлении к отверстию.

Пример расчёта отстойного бассейна¹.

Задание. Требуется рассчитать отстойный бассейн при поступлении деривацию $Q_{\text{расч.}} = 10 \text{ м}^3/\text{сек.}$ при наличии в потоке наносов $= 1\%$ по весу гранулометрического состава, указанного в таблице.

диаметр фракции (мм) . . .	> 0,50	0,50—0,25	0,25—0,10	< 0,1
процентное содержание . . .	10	35	25	30

Необходимо, чтобы наносы фракции крупнее 0,5 мм были задержаны в отстойнике.

Расчёт.

1. По опыту конструирования сначала задаёмся размерами отстойника (рис. 186).

¹ В примере не даётся детального расчёта самого отстойника, поскольку следует только пояснение принципа расчёта промывных шахт.

Расчётная глубина в бассейне $H = 5,2$ м.

Из общей глубины наполнения отбрасываем высоту донного отверстия шахты и толщину забральной стенки, предполагая, что достаточно получить осаждение наносов до линии $a-a$, ниже которой они будут увлечены промывным током.

Ширина по дну предварительно намечена $b_d = 2$ м.

Площадь живого сечения $F = 40$ м².

Средняя скорость в бассейне $v_0 \approx 0,35$ м/сек.

Гидравлическая крупность наносов при $d = 0,5$ мм будет $w_0 = 0,07$ м/сек.

Тогда длина бассейна будет $L = 1,2 \cdot H \frac{v_0}{w_0} = 31,2 \approx 32$ м.

Размеры промывных шахт: высота $h_0 = 0,30$ м, ширина $l = 0,80$ м.

Расстояние между осями шахт принято достаточно большим и равным $2a = 4l = 3,2$ м с целью уменьшения промывного расхода и числа шахт.

Скорость в шахте принимаем $v_0 = 1,5$ м/сек. (примерно, в 6 раз больше размывающей для данных наносов).

Промывной расход на одну шахту $q = h_0 l v_0 = 0,36$ м³/сек.

Число шахт $n = \frac{L}{4l} + 1 = 11$.

Суммарный промывной расход $Q = qn = 3,96$ м³/сек.

Таким образом, общий расход, поступающий в отстойник, при непрерывном действии промывных шахт будет

$$Q_{ос} = Q_p + Q = 13,96 \text{ м}^3/\text{сек.},$$

что даёт среднюю скорость в отстойнике несколько меньше принятой выше. Значит длина $L = 32$ м будет иметь некоторый запас.

2. Определяем коэффициент скорости смеси μ_c по формуле:

$$\frac{\mu_c}{\mu_b} = \frac{0,85}{\sqrt[3]{p}}.$$

Предварительно находим μ_b и p — процентное содержание наносов в промывном потоке

$$\mu_b = \sqrt{\frac{1}{\sum \zeta}},$$

где $\sum \zeta$ представляет сумму коэффициентов потерь:

а) на вход при острых рёбрах входных отверстий шахт

$$\zeta_1 = 0,5;$$

- б) на выход на шахты $\zeta_2 = 1,0$;
 в) на трение по длине $l_{\text{ш}}$ при коэффициенте шероховатости $n = 0,012$

$$C = \frac{R^{1/3}}{n} = \frac{0,109^{1/3}}{0,012} \approx 57,5;$$

$$h_w = \frac{v^2 l_{\text{ш}}}{C^2 R} = \frac{v^2 \cdot 6,0}{57,5^2 \cdot 0,109} = 0,0167 v^2;$$

$$h_w = \zeta_3 \frac{v^2}{2g} = 0,0167 v^2;$$

Отсюда $\zeta_3 = 2g \cdot 0,0167 \approx 0,33$,
 где R — гидравлический радиус сечения шахты,
 $l_{\text{ш}}$ — длина шахты (взята с рис. 186), равная 6 м;
 г) коэффициент потерь на повороте шахты

$$\zeta_4 = 0,95 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,05 \sin^4 \frac{\theta}{2}.$$

При

$$\theta = 50^\circ \quad \zeta_4 \approx 0,24$$

$$\Sigma \zeta = 0,5 + 1,0 + 0,33 + 0,24 = 2,07$$

$$\nu_2 = \sqrt{\frac{1}{2,07}} = 0,695.$$

Определяем процентное содержание наносов в промывном потоке. Подсчитанная выше длина бассейна гарантирует выпадение песчинок диаметром $d = 0,5$ мм с поверхности воды в бассейне. Песчинки этих размеров, находящиеся в любой точке по высоте потока, также выпадут; но, кроме этого, в отстойнике выпадут и песчинки более мелких фракций, если последние находятся не у поверхности, а где-нибудь ниже. Эту глубину, с которой и ниже которой будут осаждаться более мелкие фракции, определим по формулы длины отстойника:

а) для фракции $d = 0,5 - 0,25$ мм $w_0 = 0,045$ м/сек.

$$h_1 = \frac{L w_0}{1,2 v_0} = \frac{32 \cdot 0,045}{1,2 \cdot 0,35} \approx 3,4 \text{ м};$$

б) для фракции $d = 0,25 - 0,10$ мм $w_0 = 0,029$ м/сек.

$$h_2 = \frac{32 \cdot 0,029}{1,2 \cdot 0,35} = 2,2 \text{ м};$$

в) для фракций с диаметром меньше 0,10 мм, ввиду того что дальнейшее распределение по размерам в данном гранулометрическом составе неизвестно, примем, что осаждается $\frac{1}{2}$ от имеющегося общего их количества в потоке.

Таким образом количество откладывающихся наносов перед отверстиями шахт будет равно:

$$10 + \frac{h_1}{H} \cdot 35 + \frac{h_2}{H} \cdot 25 + \frac{1}{4} \cdot 30 = 10 + \frac{3,4}{5,2} \cdot 35 + \\ + \frac{2,2}{5,2} \cdot 25 + \frac{1}{4} \cdot 30 = 52\%$$

от имеющихся в потоке наносов.

Здесь принято условно равномерное распределение по вертикали наносов всех фракций.

Среднее содержание наносов в промывном потоке будет:

$$p = 1 + 0,52 \frac{Q_p}{Q} = 2,83\% \approx 3,0\%.$$

Следовало бы дифференцировать наносы по отдельным шахтам, но это слишком осложнило бы пример, который преследует иную цель.

Теперь определяем

$$\mu_c = \mu_B \cdot \frac{0,85}{\sqrt{p}} = 0,562.$$

3. Определяем удельный вес смеси

$$\gamma_c = \frac{\gamma_H \gamma (1+k)}{\gamma_H + k\gamma} = \frac{2,67 \cdot 1 (1+0,03)}{2,67 + 0,03 \cdot 1} = 1,02,$$

где $\gamma_H = 2,67$ — удельный вес наносов,

$\gamma = 1,0$ — удельный вес воды,

$$k = \frac{P_c}{100} = 0,03.$$

4. Определяем необходимый напор Δz для уравнивания смеси в шахте, вследствие несколько большего её удельного веса:

$$\Delta z = \left(\frac{\gamma_c}{\gamma} - 1 \right) H_1 = \left(\frac{1,02}{1,00} - 1 \right) 5,3 = 0,106 \text{ м},$$

где H_1 — расстояние от горизонта воды на водосливе шахты до середины донного отверстия её.

5. Определяем величину m_1

$$m_1 = \frac{Q_a \gamma_c}{Q \gamma} = \frac{q \left(1 + \frac{k\gamma}{\gamma_H} \right) \gamma_c}{q \gamma} = \frac{0,36 \left(1 + \frac{0,03 \cdot 1}{2,67} \right) \cdot 1,02}{0,36 \cdot 1} = 1,03.$$

6. Находим перепад z_c , необходимый для поддержания принятой скорости в шахте $v_c = 1,5$ м/сек., из выражения скорости

$$v_c = \mu_c \sqrt{\frac{2g(z_c - \Delta z)}{m_1}}$$

$$z_c = \Delta z + m_1 \frac{v_c^2}{\mu_c^2 2g} = 0,106 + 1,03 \frac{1,5^2}{0,562^2 \cdot 2g} = 0,48 \text{ м}.$$

7. Определяем глубину воды на пороге водослива шахты

$$h_b = \left(\frac{Q}{M \cdot l} \right)^{2/3} = \left(\frac{0,36}{2 \cdot 0,8} \right)^{2/3} = 0,37 \text{ м.}$$

Отсюда же определяется отметка порога водослива шахты, которая должна быть ниже горизонта воды в бассейне на

$$z_c + h_b = 0,48 + 0,37 = 0,85 \text{ м.}$$

8. Находим площадь смыва наносов перед одним отверстием

$$\Omega = \frac{100q}{5,7v_c + 9,20v_p} = 3,39 \text{ м}^2.$$

Здесь величина размывающей скорости $v_p = 0,22$ м/сек. взята из таблицы 60.

9. Определяем ширину смыва наносов на поверхности возможных отложений их по линии $a-a$

$$b = 0,23 \cdot l \left[\sqrt{1 + \frac{11,2 \cdot \Omega}{l^2}} - 1 \right] + 1,5h = 2,445 \text{ м,}$$

где $l = 0,8$ м — ширина отверстия шахты.

Смыв до дна будет 1,245 м, что будет меньше принятой ширины горизонтальной площадки дна $b_d = 2$ м, поэтому придётся принять ширину по дну равной 1,25 м, углубив немного отстойник.

10. Определяем длину смыва a вдоль отстойника в той же плоскости $a-a$:

$$a = 1,1b + \frac{l}{2} = 0,04 = 3,05 \text{ м.}$$

Так как желательно, чтобы смыв с пространства между отверстиями проходил полный (до дна), то необходимо ещё установить величину этого смыва a_g .

Очевидно, что a_g будет равно:

$$a_g = a - \frac{h}{\operatorname{tg} \beta} \approx a - 1,5h,$$

где $h = 0,8$ — расстояние от дна до принятого нами условно уровня возможных отложений $a-a$.

Тогда $a_g = 3,05 - 1,5 \cdot 0,8 = 1,85$ м, т. е. полный смыв до дна в обе стороны от оси отверстия будет $1,85 \times 2 = 3,70$ м.

Принятое же нами расстояние между осями шахт (отверстий) 3,20 м.

Значит смыв наносов будет обеспечен.

Можно было бы ещё несколько увеличить расстояние между шахтами и уменьшить промывной расход.

Пересчётов не производим.

В ряде случаев промывки отстойников приходится наносы транспортировать в нижний бьеф иногда на довольно значительные расстояния. При этом промывной тракт может быть осуществлён как безнапорным, так и напорным.

Безнапорный тракт применим в тех случаях, когда имеется достаточная разность уровней верхнего и нижнего бьефов, чтобы обеспечить необходимые уклоны для транспортирования наносов в наиболее ответственный период—в паводок, когда уровень в нижнем бьефе сильно повышен. При этом не должно происходить подтопления тракта со стороны нижнего бьефа. В противном случае он забьётся наносами.

Эти условия обычно необходимы при периодической промывке многокамерных отстойников с исключением камер, когда одновременно требуется и неподтопляемость их снизу для обеспечения интенсивности смыва наносов.

Напорный тракт применяется в тех случаях, когда глубина отстойника значительна, а подпор на плотине недостаточен и сброс промывного потока, особенно в паводок, приходится производить под уровень нижнего бьефа. В межень этот тракт может работать и как безнапорный.

Преимущественное применение напорного тракта при непрерывно промываемых отстойниках Дюфура или при периодически промываемых, но когда уровень воды в них не снижается и имеется таким образом достаточный напор даже в паводок для создания необходимых скоростей в промывном тракте.

При местной промывке донными отверстиями в пороге без снижения уровня воды также чаще приходится иметь дело с напорным промывным трактом или донными галереями, когда подтопление снизу не имеет значения, поскольку скорость в них определяется разностью уровней в начале и конце их.

Выбор того или иного типа промывного тракта может быть обусловлен также топографией местности.

Расчёты промывных трактов пока ещё не имеют достаточно обоснованной теории, проверенной на практике. Все исследования в этой области односторонни или имеют незаконченный характер и потому имеют ограниченную область применения.

Наиболее ответственным при расчёте промывных трактов является назначение необходимой скорости, обеспечивающей транспортирование данного количества и состава наносов преимущественно во вешнем состоянии.

При таком состоянии наносов они мало влияют на величину сопротивления, а следовательно, и на потери напора в тракте, особенно при обычно незначительном содержании наносов в гидромассе, не превышающем; во всяком случае, 10% по весу. Это обстоятельство облегчает задачу проектировщика, поскольку можно в таком случае расчёт вести по обычным формулам гидравлики.

В качестве возможных методов подхода к разрешению вопроса о транспортирующей способности промывных трактов рассмотрим

ниже расчёт безнапорного и напорного трактов. Порядок расчёта их может быть установлен общий. Он сводится к следующему.

Величина промывного расхода Q_n и содержание наносов в нем устанавливаются при расчёте отстойника. По расположению отстойника в плане намечается трасса промывного тракта и определяется его длина L .

По горизонтам воды в начале и конце тракта устанавливается возможное общее падение или потери напора на всей длине его. По этим последним определяется уклон дна для безнапорного и уклон пьезометрической линии для напорного тракта. При этом в нижнем конце следует брать наивысший возможный уровень.

Затем необходимо задаться скоростью v в промывном тракте, которую можно назначать, пользуясь различными указаниями:

1) основываясь на опытах Дикона, нами рекомендуется брать $v = (4-6) v_p$, где v_p — размывающая скорость для данных наносов;

2) для напорного тракта и при песчаных наносах можно воспользоваться формулой, приводимой нами при расчёте промывных шахт $v = 60 \sqrt[3]{p}$ м/сек., увеличивая получающуюся по ней скорость в $1\frac{1}{2}$ раза;

3) вообще на практике промыв идёт без особых затруднений при скоростях в 3—5 м/сек. в зависимости от крупности наносов.

По скорости определяется живое сечение тракта. Далее для безнапорного тракта по формуле Шези определяется значение $C_n \sqrt{R}$ по известным уже v и I :

$$C_n \sqrt{R} = \frac{v}{\sqrt{I}}.$$

Заменяя

$$C_n = \frac{R^{1/6}}{n_n}, \text{ получим } \frac{R^{2/3}}{n_n} = \frac{v}{\sqrt{I}}.$$

Коэффициент шероховатости n_n при наличии в потоке значительного количества наносов (p до $10^0/0$) необходимо принять несколько больший, чем для чистой воды. Нам уже отмечалось выше, что при p , равном $10^0/0$, его следует брать равным $n_n \approx 1,30 n_0$.

Учитывая, что p может быть и меньше $10^0/0$, n_n следует принимать в пределах $(1,1 \div 1,3) n_0$, где n_0 — коэффициент шероховатости при чистой воде. Тогда находим R , а по нему и глубину потока h , принимая гидравлически наиболее выгодное сечение $(R = \frac{h}{2})$, поскольку в этом случае транспортирующая способность потока будет наибольшая.

Далее по глубине h , сечению F и заложению откосов m находим ширину по дну b . Для проверки транспортирующей способности запроектированного тракта желательно ещё провести подсчёт величины p или определить расход наносов по ряду существующих формул и предложений.

Если транспортирующая способность окажется недостаточной, то необходимо произвести пересчёт тракта на новые условия, увеличив скорость или повысив искусственно шероховатость дна или, наконец, уменьшив p и повысив Q_n . И так, до получения благоприятных условий промывки отстойника и транспортирования наносов по тракту.

Транспортирующая способность для мелких песчаных и лёссовых наносов может быть проверена по нашей формуле, полученной на основе лабораторных исследований по гидротранспорту пыли:

$$\gamma R I = (0,4p \sqrt[3]{Q_n} + 1) Q_n^{0,44}, \quad (92)$$

где

I — уклон дна канала,

R — гидравлический радиус

и p — содержание наносов в потоке в процентах по весу.

Учитывая известную приближённость подсчётов по ней, можно $\sqrt[3]{Q_n^{0,44}}$ заменить $\sqrt[3]{Q_n}$, что упростит расчёты. Проф. И. И. Леви (49) рекомендует формулу:

$$p = \left[(\lambda_n - \lambda_0) \frac{v}{w_0} \right]^0 \cdot 100, \quad (93)$$

где p — содержание наносов в процентах по объёму,

λ_n и λ_0 — коэффициенты сопротивления (по Дарси) для гидромассы и чистой воды,

w_0 — гидравлическая крупность наносов,

c — показатель степени, заменяющийся от 1 до 2.

При этом им рекомендуется брать $c=2$ при скорости течения $v > 3$ м/сек., а коэффициент λ_n на 20% больше λ_0 при относительно небольших насыщениях потока наносами.

Для безнапорного потока λ_0 выражается через коэффициент Шези C в виде:

$$\lambda_0 = \frac{2g}{C^2},$$

поскольку в данном случае приходится вместо диаметра трубопровода D вводить гидравлический радиус $R = \frac{D}{4}$.

Для трубопроводов

$$\lambda_0 = \frac{8g}{C^2}.$$

Для напорного тракта вместо формулы Шези берётся формула расхода воды через трубопровод

$$Q_n = \mu_s F \sqrt{2gz},$$

где z —напор, теряемый в напорном тракте,
 μ_s коэффициент расхода, определяемый по формуле:

$$\mu_s = \sqrt{\frac{1}{\Sigma \xi}},$$

где $\Sigma \xi$ —сумма коэффициентов отдельных потерь напора—местных и на трение.

Здесь влияние наносов учитывается повышением коэффициента шероховатости при подсчёте потерь на трение.

Порядок расчёта в этом случае изложен нами в книге «Водозаборные устройства для гидростанций и ирригации».

На основании больших лабораторных исследований в НИИГ Кнороз даёт следующую формулу для промывной скорости в трубах:

$$v_{np}^{5/4} = w \sqrt[4]{p} \sqrt[4]{\frac{Q_{np}}{\pi d^3}},$$

где w —гидравлическая крупность наносов,
 d —диаметр частиц, мельче которых в смеси содержится 75%,
 p —содержание наносов в промывном потоке в процентах к весу.

Г л а в а XIX

ОСНОВНЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОТСТОЙНЫХ БАССЕЙНОВ

Проектирование отстойников представляет довольно сложную комплексную задачу, разрешение которой связано как с естественными условиями местности и источника питания, так и с условиями работы проектируемого водохозяйственного предприятия.

При разрешении задач борьбы с наносами в отдельных случаях путём применения отстойников приходится в известной последовательности прорабатывать и разрешать следующие вопросы.

1. Условия работы отстойных бассейнов, определяемые, с одной стороны, местностью и характером источника питания и с другой—характером проектируемого водохозяйственного предприятия.

а) Условия местности и источника питания, имеющие известное значение при проектировании отстойников, в основном определяются: колебаниями уровней и расходов воды в реке и их обеспеченностью, уклонами уровней воды, количеством, составом, физическими и механическими свойствами взвешенных и донных наносов и их динамикой во времени, зимним режимом источника питания, топографией местности, определяющей расположение как самого отстойника, так и место отвалов наносов при механической чистке их.

б) Характерные особенности предприятия, отражающиеся на проектируемом отстойнике, определяются: назначением водохозяйственных мероприятий—для гидроустановки или для пригацин; наличием плотины и её размерами (преимущественно высотой), определяющими объём водохранилища и до известной степени срок его службы; высотой приемы сработки водохранилища и возможностью промывки как водохранилища, так и самого отстойника; типом деривации (напорная или безнапорная) или характером магистрального канала (бетонированное или земляное русло); колебаниями расхода воды в деривации; возможностью периодического отклонения деривации и длительностью бездействия её; транспортирующей способностью как магистрального канала, так и распределителей или даже оросителей пригационной системы; в связи с этим приобретает известное значение и коэффициент полезного действия пригационных систем и отдельных каналов; наличием бассейна суточного регулирования в гидроустановках и его расположением; наличием сброса из магистрального канала при бесплотном водозаборе, определяющего возможность хотя бы частичной промывки отстойника при механической его чистке; возможностью получения на месте электрической энергии.

II. Мероприятия по борьбе с наносами при водозаборе и целесообразность устройства, наряду с другими мерами, отстойного бассейна.

III. Разработка задания для проектирования отстойного бассейна с учетом вышеуказанных условий его работы.

Прежде всего необходимо установить опасные фракции, подлежащие выделению в отстойнике с заданной обеспеченностью, или предельно допустимые мутности потока в деривации за отстойным бассейном. Затем необходимо установить гидрологический год или период года с известной повторяемостью, по данным которых и проводится расчёт отстойника. Желательно также установить гидрологический год или период, имеющие малую повторяемость, но создающие более напряженные условия работы отстойника, по которым целесообразно провести только поверочные расчёты для выяснения возможных последствий недостаточности осветления потока и необходимых в таких случаях мероприятий.

IV. Проектирование отстойного бассейна, состоящее из разрешения ряда общих вопросов конструирования и расчётов по принятому типу отстойника.

К общим вопросам относятся: установление норм гидравлической крупности наносов, содержащихся в данном потоке, по объёмному весу отложений наносов в отстойнике; установление принимаемого в расчётах характера распределения взвешенных наносов, а также скорости течения по вертикали, установление количества донных наносов, поступающих в отстойник, выбор типа отстойника для данных условий его работы—гидравлически промываемый (с периодической или непрерывной промывкой) или механически очищаемый, выбор расположения отстойника на деривации и схемы присоединения к ней; выбор скорости течения воды в отстойнике на основе технико-экономических соображений.

Вопросы конструирования и расчёта принятого типа отстойника, в основном, сводятся к следующим:

А. Для гидравлически промываемого отстойника.

1. Установление общей схемы действия отстойника: а) непрерывно действующий или периодически отключаемый, б) при непрерывно действующем—периодически или непрерывно промываемый по условиям промывки при заданном подпоре горизонта воды на плотине; в) при периодически отключаемом—с обводным каналом или без него, т. е. допускается ли периодическое прекращение подачи воды в деривацию; г) при непрерывно действующем—количество камер отстойника.

2. Возможный промывной расход для периодической или непрерывной промывки при расчётном гидрологическом периоде, положенном в основу расчёта отстойника.

3. Установление размеров поперечного сечения камер отстойника—ширины B и глубины H как по условиям промывки их при данном подпоре горизонтов воды на плотине в связи с количеством камер и конструированием промывных устройств, так и по технико-экономическим соображениям, учитывая предельно допустимые соотношения B и H по условиям промывки.

4. Характер отложений наносов в потоке беспредельной длины при установленной скорости в отстойнике.

5. Установление полезной длины камер отстойника по заданной обеспеченности осветления потока для опасных фракций (для гидростанций) или по заданной мутности выходящего из отстойника потока (для пригацин).

6. Установление запасного объёма для отложений наносов при периодически промываемых камерах отстойника и периода между промывками их.

7. Конструирование в целом отстойного бассейна с промывными, подходными и отводными устройствами.

8. Проверка промывной способности камер при заданном промывном расходе и длительность промывки при периодически промываемых камерах, учитывая операции со щитами.

9. Трассирование промывного тракта для сбросов наносов в реку, его конструирование, проверка транспортирующей способности его.

10. Компановка узда с отстойным бассейном для обеспечения благоприятных условий его работы при различных гидрологических условиях, возможна на базе лабораторных исследований.

11. В случае необходимости разработка мер по борьбе со льдом и мусором.

Б. Для механически очищаемого отстойника.

1. Установление общей схемы действия отстойника.

а) наличие регулирующих расход воды сооружений и их расположение,

б) количество камер отстойника в связи с регулированием мутности выходящего из отстойника потока,

в) наличие сбросного устройства и возможность использования его для частичной промывки наносов из отстойника.

2. Установление нормальных глубины и ширины камер отстойника с учётом требований, предъявляемых применяемыми для очистки их механизмами, а также и противомалырийными мероприятиями.

3. Установление характера отложений наносов в потоке и необходимой длины отстойника для достижения заданной мутности осветлённого потока.

4. Проведение расчётов по регулированию мутности осветлённого потока при заданных гидрологических условиях источника питания и графика потребления воды.

5. Проведение расчётов по промывке наносов при заданных условиях работы отстойника с целью установления количества смываемых наносов по отдельным периодам года.

6. Установление предельного объёма отложений при заданной мощности очистных механизмов с учётом промывки наносов, если таковая применяется в данном случае.

7. Выбор типа, мощности и количества механизмов для очистки отстойников от наносов.

8. Проектирование отвалов для удаляемых из отстойника наносов с учётом противомалырийных мероприятий.

9. Проработка вопроса об использовании отстойника в целях борьбы с сорняками.

V. Основные положения по эксплуатации отстойного бассейна и необходимые наблюдения для обеспечения правильной постановки эксплуатации его.

Основные наблюдения, позволяющие контролировать работу отстойника, сводятся: к систематическому взятию проб наносов в потоке, поступающем в отстойник и выходящем из него, к проведению перидических замеров отложений наносов в отстойнике, к наблюдениям за ходом и результатами промывки наносов, к изучению характера потока перед отстойником и в камерах его в различных случаях эксплуатации, к наблюдениям за зимним режимом работы отстойника.

Одновременно целесообразно проводить наблюдения и за последствиями осветления потока, т. е. за состоянием деривации или пригационной сети с целью выявления эффективности работы отстойного бассейна.

VI. Научно-исследовательские работы, связанные с уточнением или разрешением ряда вопросов проектирования отстойника.

В настоящей работе мы попытались дать основы для разрешения вопросов конструирования и расчёта отстойников, а также научной организации эксплуатации их. Применение основных положений данной работы не может быть автоматическим—оно потребует от специалиста широкой эрудиции и опыта в разрешении задач при конкретном проектировании, поскольку это последнее связано с весьма разнообразными местными условиями и требованиями проектируемого водохозяйственного предприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа и научно-исследовательских работ по отстойным бассейнам в ирригации и гидросиловых установках приходим к таким выводам.

1. Совершенно незаслуженно игнорируются в нашем строительстве отстойники с непрерывной промывкой наносов. Имеются весьма ценные достижения советской инженерной мысли в области конструирования новых систем отстойников как с непрерывной, так и с периодической промывкой; которые следует смелее использовать в строительстве, поскольку они обещают дать весьма положительный экономический и эксплуатационный эффект.

Заслуживают особенного внимания также системы отстойных бассейнов, которые не требуют повышения плотины из-за условий промывки наносов.

2. Для улучшения эксплуатационных условий многокамерных отстойников целесообразно применение успокоительных аванкамер, обеспечивающих благоприятные и достаточно устойчивые условия входа воды в них; с этой же целью необходима весьма тщательная проработка компоновки водозаборных узлов с отстойниками; включая и регулировочные работы в бьефах, шире используя лабораторные исследования.

3. Для облегчения условий работы отстойных бассейнов следует использовать верхние бьефы плотин для предварительного осветления потока, обеспечивая промывку бьефов в паводок соответствующим конструированием плотин. Это является необходимым также и по условиям сохранения регулировочного объема бьефов.

4. Для сокращения эксплуатационных расходов по механической очистке отстойников при бесплотинном водозаборе необходимо в условиях переменного режима реки и канала обеспечить регулирование мутности осветленного потока соответственно транспортирующей способности каналов ирригационных систем; с этой же целью следует шире практиковать гидравлическую промывку отстойников и при бесплотинном водозаборе.

5. Организация эксплуатации отстойных бассейнов часто является причиной неудовлетворительной работы их; в связи с чем следует признать безусловно необходимой научную организацию её на базе широко поставленных наблюдений и исследований в процессе эксплуатации, что является целесообразным и для проверки научных теорий; часто базирующихся только на лабораторных исследованиях.

6. Неудовлетворительная работа отстойных бассейнов часто является результатом недостаточно полных гидрометрических материалов по наносам и невыявленности прочих условий работы проектируемого отстойника. В связи с этим возникает необходимость большей обоснованности заданий для проектирования, в частности, по критическим мутностям в ирригационной сети; определяющим степень осветления потока, по составу фракций и общему количеству их в потоке, допустимым к пропуску через турбины.

Для дальнейшего продвижения проблемы борьбы с наносами при строительстве водохозяйственных предприятий необходимо научные исследования в этой области направить в первую очередь на разрешение следующих вопросов:

1. Развитие теории расчёта отстойников при осаждении мельчайших фракций наносов при относительно значительных скоростях течения ($v > v_{\text{взд}}$) приобретает в настоящее время значение не только для ирригации, но и для гидроустановок, учитывая опыт их эксплуатации; в связи с этим следует продолжить научные исследования по транспортирующей способности потоков.

2. Рационализация механически очищаемых отстойников в отношении устройства их и механизмов, работающих по очистке наносов, и методики проектирования, а именно:

а) при разработке рациональных типов землечерпательных снарядов, дающих высокую концентрацию пульсы; следует иметь в виду приспособление их к снятию относительно небольшого слоя отложений, часто очень малого объёмного веса — сильно разжиженных. Целесообразно также проработать устройство отстойника со стационарной землесосной установкой при промываемых камерах отстойника;

б) при технико-экономическом обосновании мощности землечерпательных снарядов следует увязать этот вопрос с установлением запасного объёма в отстойнике; регулирующего твёрдый сток;

в) в отношении назначения скорости течения в отстойнике следует иметь в виду, что с уменьшением скорости лучше концентрируются отложения, чем улучшаются условия работы землечерпательных снарядов, с одной стороны, но ухудшаются условия для размещения вынимаемых отложений, с другой стороны;

г) в отношении рационального размещения вынимаемых из отстойника наносов.

3. Дальнейшие исследования по промывке ирригационных отстойников при бесплотинном водозаборе; добиваясь максимального эффекта в этом отношении, а также разрабатывая и теорию промывки отложений.

4. Добиваясь уменьшения захвата взвешенных наносов, используя комбинации сквозных сооружений с направляющими системами проф. Потапова.

5. Исследования, связанные с разработкой и испытанием более интенсивных методов осветления потока; чем принятый в практике — естественное выпадение наносов при уменьшенных скоростях течения.

6. Разработка простейших типов отстойников для колховых ГЭС и внутриирригационных систем.

ЛИТЕРАТУРА И МАТЕРИАЛЫ

1. А б а л ь я н ц С. Х., Противонаосные мероприятия на Вахшской ирригационной системе (журнал «Ирригация и гидротехника», 1936, № 4).
2. А б а л ь я н ц С. Х., Приближённый расчёт ирригационных отстойников (Труды САНИИРИ, вып. 43, 1938).
3. А б р а х и м о в, Очистка ирригационных систем (журнал «Советский хлопок», 1938, № 1).
4. А г н и а ш в и л и, Восемь лет работы Земо-Авчалской гидроэлектростанции им. В. И. Ленина (Журнал «Гидротехническое строительство», 1936, № 1).
5. А в е р ь е р С. Х., Исследование работы вертикальных цилиндрических отстойников.
6. А р х а н г е л ь с к и й Б. В., Экспериментальные исследования точности шкала гидравлической крупности частиц (Известия НИИГ, 1935, № 15).
7. Б а л ь б о и П о л т о р а ц к и й, Об эффективности арычных наносов (Журнал «Советский хлопок», 1938, № 10).
8. Б а н О. С., Водозаборные сооружения для горных рек (Журнал «Ирригация и гидротехника», 1935, № 10).
9. Б а х Г., Очистка сточных вод.
10. Б о т у к В. О., Очистка бытовых стоков, ч. 1.
11. Б у р ц о в А. Ф., Режим наносов в условиях ДзораГЭС (Известия НИИГ, 1934, № 13).
12. Б у р ц о в А. Ф., Результаты опытных исследований в натуре режима наносов в подпёртом бьефе и сооружениях ДзораГЭС (Известия НИИГ, 1936, № 18).
13. Б у р ц о в А. Ф., Навосы в условиях Земо-Авчалской гидроэлектростанции (Известия НИИГ, 1934, № 11).
14. Б у р ц о в А. Ф., Некоторые результаты экспедиционного обследования режима наносов ирригационного узла Малокабардинской оросительной системы на реке Терек (Известия НИИГ, 1934, № 12).
15. Б у р ц о в А. Ф., Лабораторные исследования осреднённой скорости выпадения смеси песка в плоском турбулентном потоке (Отчёт НИИГ, 1936).
16. В а с и л ь я н, Основы расчёта скорости осаждения грунтовых частиц в жидкости, 1936.
17. В е л и к а н о в М. А., Исследование механизма взвешивания наносов (Журнал «Вестник ирригации», 1926, № 10).
18. В е л и к а н о в М. А., Применение теории вероятностей к расчёту осаждения наносов в турбулентном потоке (Известия НИИГ, 1936, № 18).
19. В о й ц, И г н а т о в и Р а х м а н о в, Двухфазный и шатровый струераспределитель (Известия НИИГ, 1940, № 27).
20. В ы з г о, Ч е к у л а е в и Х о л ь к и н, Режим наносов реки Чу (журнал «Ирригация и гидротехника», 1935, № 5).
21. В ы з г о и И в а н е н к о, Некоторые результаты опытного изучения Чумышской плотины (журнал «Ирригация и гидротехника», 1935, № 7).

22. Гвелескипи, Десять лет работы водохранилища ЗАГЭС (журнал «Гидротехническое строительство», 1939, № 4—5).
23. Глушков, К вопросу об изучении механических свойств речных и ветровых наносов (Отчёт гидрометр. части в Туркестанском крае, 1910, т. I, гл. VII).
24. Глушков, Один из способов изучения условий движения наносов (Отчёт гидрометр. части в Туркестанском крае, т. I, гл. VIII).
25. Главстройпром, Вертикальные отстойники для очистки сточных вод, Технические условия на проектирование, 1936.
26. Гончаров В. Н., О взвешивании наносов, 1933.
27. Гончаров В. Н., Движение наносов, 1938.
28. Гостунский А. Н., Опыты по определению вертикальной составляющей скорости (Журнал «Ирригация и гидротехника», 1935, № 1).
29. Гостунский А. Н., Способы расчёта и проектирования отстойников (рукопись—Отчёт Тапикентского института ирригации и механизации сельского хозяйства).
30. Гунер Е., Вывешивание твёрдых тел текучей водой (Вопросы речного быта, сборник статей, 1905).
31. Дворецкий М., Существующие конструкции песколовок и новые принципы уловления песка на сточных вод (рукопись).
32. Дворецкий М. и Канакрестрой, Бюллетень № 1, 1931.
33. Демин А. Т., Предварительные наблюдения над работой первичных отстойников вертикального типа (Сборник Академии коммуна. хоз. «Очистка сточных вод», 1934).
34. Дубянский В. А., Песчаная пустыня, юго-восточные Кара-Кумы, 1928.
35. Егiazаров И. В., Гидроэлектрические силовые установки, ч. II, 1935.
36. Егiazаров И. В., Экспериментальные исследования головных улов (Известия НИИГ, 1933, № 9).
37. Егiazаров И. В., Водоприёмные сооружения гидроэлектрических установок (Известия НИИГ, № 5).
38. Жуков, Влияние скорости потока в отстойнике на их осветление.
39. Жуков, Отстойники для сточных вод рудообогатительных фабрик.
40. Загустин, Зависимость осаждения пульпы от концентрации (Механобр).
41. Замарин Е. А., К расчёту отстойников (Научные записки МГМИ).
42. Замарин Е. А., Соколов Д. Я., Гидротехнические сооружения, т. II, 1933.
43. Зегжда, Проверка в натуральных условиях расчётных формул для определения размеров отстойника (Отчёт по НИИГ, рукопись, 1940).
44. Земо-Авчалская гидроэлектростанция, Альбом чертежей и текст.
45. Иванов А. И., О расчётах промывных отверстий и промывных расходов («Гидротехника», № 1, 1929/30).
46. Колесников, Промывная галерея с винтообразным движением воды (Журнал «Гидротехническое строительство», 1940, № 7).
47. Кузнецов Н. К., Дворецкая гидротехническая станция.
48. Кутанс Л. И., Гидротехника в торфяном деле, ч. III, 1937.
49. Левин И. И., Отстойники и промывные устройства, 1938.
50. Левин И. И., К вопросу о теории движения потоков, насыщенных наносами (Известия НИИГ, 1932).
51. Лосиевский, О природе взвешивающей силы потока («Водный транспорт», 1928, № 4 и 5).
52. Материалы по заграничной поездке инж. Лаупмана.
53. Михайлов К. А., Проектирование ирригационных сооружений, 1932.
54. Охотин В. В., Гранулометрическая классификация грунтов, 1933.
55. Пальчевский, Абрамов, Шегрин, Сопротивление трения смеси грунта с водой при напорном движении по трубам (Труды ЦНИИВТ, 1935, вып. 117).
56. Попов К. Г., Самопромывающиеся отстойники системы инж. Попова («Вопросы ирригации», сборник № 1, «Устройств»).

57. Потапов М. В., Борьба с донными наносами и защита берегов от размыва.
58. Проекты технических условий и норм гидротехнического проектирования (НИИГ, 1939).
59. Проектные материалы Гидроэнергопроекта.
60. Рейнталь Л. А., Несколько слов о завешивании (Журнал «Ирригация и гидротехника», 1935, № 10).
61. Рутковский И., Гидроэлектрическая установка на реке Гумисте-Сурум-ГЭС (Журнал «Гидротехническое строительство», 1934, № 7—8).
62. Савельев, Исследование вертикальной составляющей скорости потока (Известия НИИГ, 1938, № 22).
63. Савельев, Экспериментальные исследования головных сооружений Дзюрагетской гидростанции (Известия НИИГ, 1933, № 9).
64. Савельев, Экспериментальные исследования головных сооружений Аджарис-Цхальской гидростанции (Известия НИИГ, 1933, № 10).
65. Салахов, Круглые отстойники (Диссертация, рукопись, 1941).
66. Соколов Д. Я., Отстойные бассейны (I издание, 1933).
67. Соколов Д. Я., Водозаборные устройства для гидроэлектростанций и ирригации (1937).
68. Соколов Д. Я., Опыт эксплуатации Верхне-Зеравшанского узда (1932).
69. Соколов Д. Я., Новая система отстойника (рукопись, материалы ВНИИГиМ).
70. Соколов Д. Я., Меры против завешивания наносов в каналы (Журнал «Вестник ирригации», 1930, № 3).
71. Соколов Д. Я., К выработке мер по борьбе с наносами (Журнал «Вестник ирригации», 1927, № 9).
72. Соколов Д. Я., Опыт применения противонапосного водозаборного устройства (Научные записки МГМИ, № 1).
73. Соколов Д. Я., К рационализации промывных устройств, головных сооружений каналов (Журнал «Вестник ирригации», 1928, № 4).
74. Соколов Д. Я., Водозаборные устройства (гидротехнические сооружения, т. II, гл. 27—Вливник, Гришин и др.).
75. Соколов Д. Я., Транспортирование грунта при гидромеханизации (Труды ВНИИГиМ, 1934, т. XV).
76. Соколов Д. Я. и Росс С. А., Отстойные бассейны гидросильных установок (Журнал «Вестник ирригации», 1930, № 3).
77. Хачатрян и Большаков, Об исследованиях по борьбе с наносами на канале Куль-Арм (Отчет ВНИИГиМ, 1941).
78. Хорст Г. О., К вопросу проектирования незавешиваемых ирригационных каналов (Сборник статей по ирригации и гидротехнике, 1939, Труды САНИИРИ, вып. 54).
79. Шапошников Д. Г., Отстойник (Мелиорат.-гидротех. сборник, 1928, № 2).
80. Шапошников Д. Г., О борьбе с заиливанием каналов ирригационных систем.
81. Шаумян, О выносе наносов на поля (Журнал «Сельскохозяйственная наука», № 3).
82. Чаплыгин А. В., Повысить культуру эксплуатации гидроэлектростанций (Журнал «Гидротехническое строительство», 1941, № 5).
83. Ягодян, Исследование заиливания Земо-Авчалской гидроэлектростанции (Известия НИИГ, 1932, № 6).
84. Büchi, Entsandungsanlagen für Wasserkraftwerke (V. D. I., 1927, № 35).
85. Colorado river desilting at Imperial dam. (Eng. N. R. окт. 17, 1935).
86. Degois, Utilisation de forces hydraulique, 1928.
87. Dufour H. L'usure des turbines hydraulique les prises d'eau et les des-sableur Dufours.
88. Dufour H. Neues über Turbinen Abnutzungen und automatische Ent-sandungsanlagen, 1924.
89. Dufour H. Отстойник гидроустановки Пом-де-Кло и Дран-Экстерьер (Bulletin Techn. Suisse Romande, 1936, т. XI, т. 63, № 23).

90. D u f o u r H. Die Entkiesungs und Entsandungsanlage des Grosskraftwerkes Kardaun Eisack (Wasserkr. u. Wasserw., 1931, H. 11).
91. D u f o u r H. La dessableur les turbines, et la production d'energie de l'usine de Marleno... (La Houille Blanche, 1936, № 22).
92. F o r e s t e r D. M.—The desilting warkes at Imperial dam (The Reclamation Era, 1938, № 8).
93. F o r e s t e r D. M.—Desilting warkes for the All—American canal (civil Engineering, 1938, v. 8, № 10).
94. G a s c o i d o G. B.—Grit chambers for sewage treatment works (Proc. of the Am. S. of C. Eng., 1926, № 7).
95. H i n d e r k s A. Strömungsvorgänge in Kläranlagen (Bauingenieur, 1929, H. 35).
96. H o u k. Орстойник Fort—L'aramie (Eng. N. R. 1928, 14/VII).
97. H u b b e l.—(Journal of the American water Works Association vol. 30, 1938, № 2).
98. Imperial dam and desilting workes (Eng. N. R., 1938, 8/XII, № 23).
99. K o e c h l i n. Mechanisme de l'eau, t. III.
00. K r e y. Der Widerstand von Sandkörner und kugeln bei der Bewegung im Wasser, 1921.
01. L u d i n. Die Wasserkräfte, ч. I и II, 1913.
02. L u d i n. Die Wasserkraftanlagen, ч. I, 1934.
03. S c h o k l i t s c h A. Wasserbau, ч. I и II, 1930.
04. S l a d e. Проект ортой в Гасцелле (Proc. of the Am. S. of C. Eng., 1935 и 1937, т. 63, № 1).
05. Transaction of the Fürst World Power Konference.
06. V e t t e r C. P. Why desilting workes for the All—American Canal (Eng. N. R., 1937, ч. III, т. 118, № 9).

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3

Часть I

Общие вопросы системы и конструкции отстойных бассейнов

Введение	5
Глава I. Роль отстойных бассейнов	16
Глава II. Назначение и схема действия отстойных бассейнов	20
Глава III. Системы отстойных бассейнов.	21
Глава IV. Общие схемы устройства и присоединения отстойных бассейнов	25
Глава V. Составные элементы отстойных бассейнов	31
Отстойные камеры	32
Впускные устройства	43
Отводные устройства	58
Средства для удаления наносов	64
Промывные устройства отстойных камер	65
Общие промывные устройства	65
Местные промывные устройства	75
Устройства для механической очистки наносов	78
Средства для усиления отложения наплавающих наносов	85
Средства для концентрации отлагающихся наносов	90
Борьба с мусором и льдом в отстойниках	92
Глава VI. Характерные системы отстойников и их применение	98
Системы с гидравлической промывкой	98
Периодически промываемые отстойники	98
Непрерывно-промываемые отстойники	105
Системы с механической очисткой	118
Проблема наносов	119
Мероприятия по борьбе с наносами	120
Очистные механизмы	126
Промывные устройства	131
Управление отстойником	134

Глава VII. Расположение отстойных бассейнов и компоновка узла	135
Бесплотинный водозабор	140
Плотинный водозабор	143

Часть II

Опыт строительства и эксплуатации отстойных бассейнов

Глава VIII. Однокамерные отстойники с гидравлической промывкой	150
Малокабардинская оросительная система	150
Условия работы водоприёмника и зона действия промывного шлюза плотины	152
Работа отстойника и его промывные свойства	154
Земо-Авчалская гидростанция имени Ленина—ЗАГЭС	157
Гидрологическая характеристика рек Куры и Арагвы	158
Запленение верхнего бьефа	159
Характеристика взвешенных и донных наносов реки Арагвы	161
Отложение наносов в районе головных сооружений ЗАГЭС	162
Расположение и конструкция водоприёмника ЗАГЭС	164
Отложение и промыв наносов в районе порога водоприёмника	167
Характеристика работы отстойника	168
Канал Форт-Ларам	170
Глава IX. Двухкамерные отстойники с гидравлической промывкой	173
ДвораГЭС	173
Результаты эксплуатации водозабора	178
Характеристика работы отстойника	179
Варвобская ГЭС	181
СухумГЭС	187
Канакирская ГЭС	192
Глава X. Многокамерные отстойники с лобовым подходом воды	197
Отстойные бассейны при Чумышской плотине	197
Режим наносов реки Чу	197
Узел головных сооружений	200
Отстойник канала Малка-Кура	204
Общие сведения	204
Условия и характер работы отстойника	208
Отстойник канала Баксан-Малка	212
Глава XI. Многокамерные отстойники, врезанные в берег	214
Отстойник БаксанГЭС	214
Отстойник при головном сооружении Чирчикских ГЭС	216
Адхнарис-Цхальская ГЭС	224
Глава XII. Отстойники при бесплотинном водозаборе	231
Отстойник Термерской пригационной системы—гидравлически промываемый	231
Отстойник на канале Куль-Арык—механически очищаемый	233
Действие отстойника по наблюдениям в 1940 г.	234
Регулирование мутности воды в отстойнике	236
Работа направляющей системы	237

Глава XIII. Выводы	238
Глава XIV. Новейшие течения в области борьбы с взвешенными наносами	251

Часть III

Проектирование отстойных бассейнов

Глава XV. Развитие теории расчёта отстойных камер	263
Глава XVI. Сущность предлагаемой теории расчёта размеров отстойных камер	292
Глава XVII. Основы теории выпадения наносов в отстойниках	293
Траектории падения частиц	294
Движение частиц по вертикали	294
Движение частиц по горизонтали	301
Траектории падения частиц при равномерном движении потока	301
Траектории частиц при неравномерном движении потока	304
Характер отложений наносов на дне	308
Опыты с точными формами частиц	308
Опыты с естественным песком	326
Форма поверхности отложений наносов	359
Графо-аналитический метод построения поверхности отложений наносов	363
Интегральная кривая отложений наносов	381
Глава XVIII. Промывка наносов	384
Периодическая промывка наносов	384
Непрерывная промывка наносов	400
Расчёт промывки системы Дюфура	400
Расчёт промывки отстойника системы Д. Я. Соколова	409
Расчёт промывных шахт и расстояния между ними	411
Расчёт промывного тракта	428
Глава XIX. Основные вопросы проектирования отстойных бассейнов	431
В заключение	435
Литература и материалы	437

Редактор М. Н. Таланцев
Техн. редактор Е. Н. Симкина

Сдано в производство 21/IX 1944 г.
Подписано к печати 2/VIII 1945 г.
Формат бумаги 60×92¹/₁₆. В 1 печ.
л. 48000 экз. 27,75 печ. л. + 6 вклески,
38,03 уч.-изд. л. А 20760.
Тираж 5 000 экз. Цена 12 руб.
Заказ № 1196.

16-я типография треста «Поли-
графиница» ОГНЗи при СНК
РСФСР, Москва, Трёхпрудный, 9.