

И. А. САВРИМОВИЧ и В. В. СТОЛЬНИКОВ

ПОДВОДНОЕ БЕТОНИРОВАНИЕ

101.126954

ОБРАЗЕЦ

ГОССТРОЙИЗДАТ • 1939

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Должно быть
87	1 снизу	рис. 75	рис. 73
106	9 сверху	степени	степени прочности
118	17 "	65 см	65 м
124	1 снизу	бетона	бутовой кладки
147	1 "	на протяжении 4 м	через 4 м

И. А. Савринович и В. В. Стольников — Зап. 1910

И. А. САВРИМОВИЧ и В. В. СТОЛЬНИКОВ

ДЕП

ПОДВОДНОЕ БЕТОНИРОВАНИЕ

12.11.76
ПОСЛУЖЕНО

120954

1/305174

ГОССТРОЙИЗДАТ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО СТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
Ленинград 1939 Москва

ББК 74.001.01
Анализ на ВОО

Книга „Подводное бетонирование“ имеет два раздела. Первый раздел рассматривает вопросы, относящиеся к подводному бетонированию в точном значении этого наименования, и иллюстрирует производство подводных бетонных работ большим числом примеров по материалам отечественной и заграничной практики.

Второй раздел, стоящий несколько особо, освещает вопрос производства подводной бутовой кладки, причем излагаются как лабораторные исследования этого способа, так и примеры практических его применений.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие всех видов строительства в СССР, достигшее в настоящее время небывалых размеров и успехов, и в частности широкое развитие гидротехнического строительства требует освоения и применения таких методов производства строительных работ, которые позволили бы ускорить, удешевить и упростить их выполнение. Возведение сооружений из бетона под водой без водоотлива является областью сравнительно мало освещенной в советской технической литературе. Выпуск настоящей книги преследует цель широкого ознакомления с принципами и приемами производства бетонных и каменных работ под водой на основе многочисленных примеров выполнения таких работ и научно-исследовательских изысканий.

Надо надеяться, что такое изложение послужит, с одной стороны, этапом к дальнейшему развитию и совершенствованию приемов подводных каменных работ, а с другой, — побудит к более широкому практическому применению наиболее совершенных из них в настоящее время.

В предлагаемой книге описаны различные методы подводного бетонирования, причем особое место отведено описанию метода заливки цементным раствором каменной наброски под водой, наиболее полно и всесторонне изученного в СССР.

При описании других методов подводного бетонирования значительное внимание уделено наиболее совершенному из существующих методов подводного бетонирования (из тех методов, когда бетон готовится на воздухе) — методу вертикально перемещающейся трубы.

Раздел I написан научным сотрудником Научно-исследовательского института гидротехники (НИИГ) инж. В. В. Стольниковым. При написании этого раздела книги (главы I—IV) использованы материалы НИИГ и статьи в периодических советских и зарубежных изданиях за последние 15—20 лет.

Раздел II написан проф. И. А. Савримовичем. Автором второго раздела книги использованы опубликованные материалы

ПОДВОДНОЕ БЕТОНИРОВАНИЕ**ВВЕДЕНИЕ**

Своим столь значительным распространением в практике современного строительства бетон обязан ряду свойств, присущих ему, как строительному материалу.

Понимая под бетонами вообще «искусственные материалы, получающиеся в результате самостоятельного твердения смесей из какого-либо вяжущего вещества, мелких и крупных частиц различных продуктов неорганического и органического происхождения и воды»,¹ в дальнейшем мы будем касаться бетонов, изготовленных с применением гидравлических вяжущих веществ, именно цементов.

Среди прочих свойств таких бетонов, одним из важнейших является способность бетонной смеси твердеть не только на воздухе, но и в воде.

Особенное значение приобретает это свойство при возведении фундаментов гидротехнических сооружений, частично или полностью расположенных под водой, а также при производстве работ в сырых местах. Возможность при этом получать массивы любой формы и удобства производства работы определяют в настоящее время почти исключительное применение бетона при возведении различного рода гидротехнических сооружений. Особый интерес приобретает при этом отмеченное выше свойство бетона на портланд-цементе — твердение под водой. Как известно, все работы, связанные с необходимостью возведения сооружений, целиком или частично покрытых водой, производятся в подавляющем большинстве случаев насухо — при помощи кессонов, опускных колодцев и перемычек. Следовательно, прежде чем приступить к постройке запроектированного сооружения, необходимо решить не менее сложную задачу — построить кессон, опускной колодец, перемычку. Постройка перечисленных вспомогательных сооружений влечет за собой дополнительные работы по осушению котлована, по организации водоотлива, по подаче сжатого воздуха и т. п.

Таким образом свойство бетона — твердение под водой — используется не полностью. Строителю дорого обходится низкий коэффициент использования богатых возможностей, обусловленных химическими процессами твердения бетона — его спо-

¹ Проф. В. А. Кинд и доц. С. Д. Окороков, Строительные материалы стр. 296, ОНТИ, 1934.

способностью превращаться в камень под водой. Поэтому, естественно, возникает мысль, нельзя ли укладывать бетон, заготовленный обычным образом на воздухе, прямо в воду, избегая постройки каких-либо сложных сооружений, кроме опалубки, определяющей форму будущего бетонного массива.

Попытки такого рода, вытекающие из технологических свойств бетона, делались неоднократно и давно.¹

Наиболее простой прием был, повидимому, исторически первым.

Далее, с накоплением опыта, после анализов и испытаний образцов подводного бетона, выяснились особенности этого заманчивого по идее способа укладки под водой бетона без водоотлива. Обнаружилось, что, вообще говоря, имеется возможность использовать полностью гидравлические свойства бетона, применяя рациональные методы подводного бетонирования. Оказалось, что бетон, уложенный под водой, по качеству лишь немного уступает бетону того же состава, уложенному на воздухе, представляя ряд преимуществ в смысле быстроты производства работ и получаемой при этом экономии. Вопрос возникал только в одном направлении — как произвести самую укладку бетона под водой, как ввести бетон в опалубку. Разрешение этого вопроса было получено на практике в самое недавнее время.

Надобность в производстве подводных бетонных работ возникала и в древнейшие времена. Например Плиний говорит об удивительном свойстве пуццоланы, придающей гидравлические свойства воздушному известковому раствору: «Существуют и другие особенности этой земли. Можно ли достаточно подивиться тому, что худшая, а потому и названная пылью часть ее на холмах в Пуццولي противостоит морскому прибою и, будучи погружена в воду, тотчас же становится единым и несокрушимым для воды камнем, с каждым днем все более крепким» (Плиний, кн. 35, гл. 13).²

Приведенная выдержка говорит о том, что указанное свойство бетона издавна привлекало внимание, нужно было только найти способ для использования его полностью.

Наиболее простой прием — погружение заготовленной на воздухе бетонной смеси в воду без каких-либо приспособлений — сразу же убедил строителей в его непригодности.

Также непригодным должен был оказаться прием погружения в воду, без каких-либо приспособлений, заготовленной на воздухе сухой бетонной смеси. Эти попытки, естественно, были обречены на неудачу. Подводный бетон, приготовляемый таким образом, не мог удовлетворить даже самым скромным требова-

¹ Можно привести ряд случаев подводного бетонирования при возведении опор мостов. Так, например, в середине прошлого столетия (1842—1850 гг.) подводное бетонирование было применено при постройке моста им. лейтенанта Шмидта в Ленинграде.

² Проф. В. А. Кин и доц. С. Д. Окороков, Строительные материалы, стр. 136, ОНТИ, 1934.

ниям, ибо полученная масса была слоиста, неоднородна и имела ничтожное сопротивление сжатию. Необходимо было искать способы устранения основной причины, вызывающей распадение бетонной смеси.

Были произведены попытки частичного изолирования бетонной смеси при ее проникновении сквозь толщу воды к месту укладки. С этой целью производили подачу бетона под воду в бадьях, ковшах и пр. Заготовленная на воздухе бетонная смесь нагружалась в бадьи и затем с помощью лебедки или крановой установки подавалась под воду к месту укладки, где бадья опрокидывалась водолазом или при помощи механического приспособления. Иногда применяли мешки вместо бадей или ковшей. Примеры применения мешков наблюдались и в последнее время, например, при постройке одной из пристаней в СССР в 1928—1930 гг. на железобетонных сваях в железобетонных цилиндрах.¹

Качество укладываемого таким способом бетона под водой было невысоко. Дальнейшее развитие способа частичного изолирования бетонной массы при перемещении ее сквозь толщу воды привело к применению раскрывающихся ящичков. Этот метод, принципиально ничем не отличающийся от метода подачи в бадьях или мешках, имел одну особенность — разгрузка ящичка производилась не опрокидыванием, а открыванием створчатого дна ящичка. Этим достигалось несколько меньшее взмучивание бетонной массы и уменьшение опасности распадаения ее при укладке. Кроме того ящик может быть открыт непосредственно над поверхностью, подлежащей бетонированию, и, таким образом, высота падения бетонной массы сквозь толщу воды может быть значительно уменьшена, а следовательно, уменьшена и опасность распадаения. Метод этот применяется и в настоящее время с достаточным успехом, в особенности при укладке бетона на больших глубинах, где никакие другие приемы неприемлемы. В качестве примера можно привести бетонирование опор моста Сан-Франциско — Окленд, где укладка подводного бетона этим способом производилась на глубинах до 75 м.

Как прямая противоположность этому методу, применяемому наиболее эффективно в условиях значительных глубин, существует метод бетонирования под водой в случае малых глубин, порядка 1—1,5 м. Бетонная масса, вводимая под воду, изолируется от непосредственного соприкосновения с водой. Бетон укладывается от берега. Каждая свежая порция бетона втрамбовывается в массу уже уложенного бетона и, таким образом, непосредственно с водой не соприкасается. В соприкосновение с водой входят только первые порции бетона, которые постепенно, с подачей новых замесов и после их втрамбовывания, перемещаются все дальше и дальше от берега. Эти первые порции

¹ Проф. А. Т. Федоров, Свайные основания и сооружения, ОГИЗ, 1932.

играют роль щита, защищающего бетон от размывания. Известное распространение получил метод укладки бетона в мешках.

При укладке бетона под водой в мешках поступали следующим образом: бетонную смесь, надлежаще увлажненную, насыпали в мешки с таким расчетом, чтобы мешок не был набит туго. Мешки укладывались под водой водолазами на место. Метод этот давал возможность получить под водой бетон почти такого же качества, как и надводный того же состава, ибо заключенная в оболочку бетонная масса не претерпевала значительных изменений вследствие вымывания цемента водой. Однако вполне монолитной массы нельзя было получить при этом приеме. Названный прием стоит несколько особняком и применяется лишь при работах, связанных с уплотнением щелей в перемышках и швов опалубки в местах прилегания ее ко дну, с образованием небольших перемычек и пр.

Итак, мы видим две возможности подводного бетонирования: 1) изолирование бетонной массы при ее перемещении сквозь толщу воды с целью предотвращения вымывания цемента и распада бетона и 2) изолирование новых порций бетона от соприкосновения с водой путем втрамбовывания их внутрь уже уложенной массы бетона.

Дальнейшее развитие приемов подводного бетонирования пошло именно по этим двум направлениям. Для изолирования бетонной массы при ее перемещении сквозь воду была применена труба (металлическая или деревянная). Заполненная бетонной массой труба опускалась до поверхности, подлежащей бетонированию. Затем труба постепенно перемещалась зигзагообразно, при этом бетонная масса из нее вытекала. По мере опорожнения трубы в нее подавались новые порции бетонной массы. После укладки одного слоя бетонной массы операция повторялась в той же последовательности. Метод этот получил весьма широкое распространение во всех странах. Однако следует отметить, что бетон в большинстве случаев получался невысокого качества. Имеются указания, что применение этого метода сопровождалось катастрофами и значительными повреждениями уже возведенных сооружений. В качестве примера можно отметить разрушение большого арочного железобетонного моста через реку Одер близ Гартца.

Описанный метод по существу не отличается от укладки бетонной массы с помощью раскрывающихся ящиков. И в этом случае мы видим выпуск бетона непосредственно в воду у самой бетонируемой поверхности. Здесь так же, как и в методе раскрывающихся ящиков, нельзя избежать полностью вымывания цемента и распада бетона. Этим и обусловлено невысокое качество получающегося подводного бетона. Различие заключается лишь в том, что процесс перемещения бетонной массы сквозь толщу воды здесь непрерывен. Так как прием укладки бетона через трубу, перемещающуюся зигзагообразно, требует применения трубы и тележки, он используется лишь при небольших глубинах, примерно до 10—15 м. При необходимости

бетонирования на больших глубинах установка становится слишком сложной и поэтому более выгодным оказывается применение раскрывающихся ящиков.

Уместно упомянуть о некоторых разновидностях метода укладки бетона с помощью трубы, перемещающейся в двух направлениях. Различие заключается в самой конструкции трубы, по которой подается бетон под воду. Так, во избежание закупоривания иногда применяются трубы, расширяющиеся книзу. Другая разновидность — применение трубы со скошенным нижним концом (рис. 1). Такой срез, сделанный под углом, равным углу естественного откоса отсыпанного бетона под водой, должен обеспечивать постоянную связь свежего бетона с ранее отсыпанным.

Следует сказать, что польза от этих мероприятий, не решающих задачи полного изолирования бетона от воды в момент укладки, представляется сомнительной.

Обращаясь ко второй отмеченной нами возможности — введению бетона внутрь уже уложенной массы бетона и устранению, таким образом, на этом этапе опасности распадаения, — мы приходим к идее соединения этих двух возможностей в одном методе.

Задача, таким образом, состоит в следующем: 1) ввести бетон под воду так, чтобы он не соприкасался с ней, и 2) ввести новую порцию бетона в массу уже уложенного так, чтобы он и на этом этапе не вошел в соприкосновение с водой. Тогда будут все основания ожидать, что полученный подводный бетон окажется надлежащего качества. Эта схема и осуществлена в так называемом способе «контрактор», получившем распространение в Швеции с 1911 г.

Бетон, как и в других методах, готовится в бетономешалках на воздухе. Консистенция бетона — литая. Бетон подается из бетономешалки под воду через трубу, подвешенную в определенном месте над бетонируемой поверхностью. Нижний конец трубы все время погружен в массу уже вылитого бетона. Таким образом достигается изолирование бетонной смеси при ее перемещении сквозь воду. Труба, будучи однажды установлена, перемещается с помощью специальной лебедки только в вертикальном направлении. Для того чтобы бетон вытекал из трубы, ее слегка приподнимают, следя, однако, за тем, чтобы нижний конец оставался погруженным в бетон. Труба постоянно заполнена бетоном. Бетон в трубе приходит в движение и вытекает внутрь вылитой уже массы, не приходя в соприкоснове-

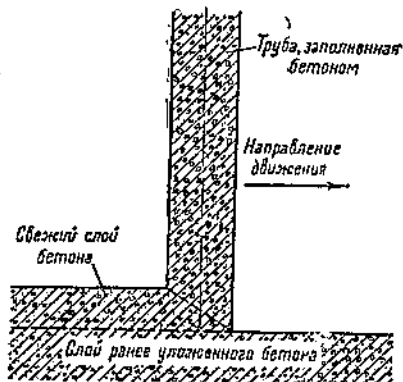


Рис. 1. Схема укладки бетона под водой с помощью трубы со скошенным нижним концом.

ние с водой. Верхний слой бетона играет роль покрова над свежеуложенным бетоном и предохраняет его от размывания и распада на составные части. Таким образом, в этом методе объединены и использованы обе отмеченные выше возможности. Одной трубой, диаметром около 300 мм, можно бетонировать площадь размером около 6 × 6 м. Описанный метод, получивший свое название от фирмы (Контрактор (Стокгольм), широко применявшей его в самых разнообразных случаях, в настоящее время является наиболее совершенным, так как обеспечивает быстрое производство работ при высоком качестве получаемого бетона.¹

Так, от примитивных попыток насыпания бетонной смеси прямо в воду, через несовершенные приемы укладки бетона под водой бадьями или мешками, пришли к современному, вполне оправдавшему себя на практике, методу укладки бетона под водой с помощью трубы, перемещающейся только в вертикальном направлении.²

Недостатком этого метода является невозможность бетонирования больших площадей одной трубой, а также необходимость обеспечения непрерывной и достаточной подачи готовой бетонной смеси из бетономешалки в воронку трубы. Это требование является основным и безусловным, так как успех работы в значительной степени зависит от непрерывности процесса литья бетона.

Особенно широко распространен этот метод в мостостроении при возведении фундаментных частей быков и устоев. Например, при сооружении одного из длинейших мостов в мире — моста Storstrom в Дании (1937—1938 г.) — фундаментные части быков (в количестве 51) были возведены с помощью подводного бетонирования по методу вертикально перемещающейся трубы.

Все работы, связанные с подводным бетонированием, требуют устройства опалубки. Иногда применяется опалубка деревянная из шпунтованных досок или брусьев, тщательно проконопаченная и надлежащим образом забалластированная при погружении под воду. Наряду с этим широко используется в качестве опалубки металлический шпунт, ограждающий подводный котлован. После разработки котлована до проектной отметки дно его выравнивается водолазами и внутренность бетонируется под водой. Это обычно производится при возведении мостовых опор.

Большое внимание, уделяемое вопросу подводного бетонирования, нашло свое выражение в ряде работ, посвященных

¹ В дальнейшем способ этот будет именоваться „способом вертикально перемещающейся трубы“.

² Встречаются указания на возможность подводного бетонирования путем непосредственного нагнетания бетона насосами под воду. Это принципиально не отличается от метода вертикально перемещающейся трубы. Однако, несмотря на то, что эта мысль не нова (см., например, Бреннеке и Ломейер, Основания и фундаменты, т. III, стр. 79, 1936), мы не встречали описаний выполненных таким приемом работ.

выяснению качества получаемого материала в смысле его однородности, водонепроницаемости и прочности в различные сроки и пр.

В СССР изучению подвергся главным образом метод получения подводных массивов путем заливки цементным раствором каменной наброски под водой. Очень глубоко изучался этот вопрос на Свирьстрое в 1935 г. Серия лабораторных опытов была проведена в ЦНИИВТе в 1936 г.

Широко разработан вопрос подводного бетонирования в Швеции; там в 1918 г. была учреждена специальная комиссия по вопросу подводного бетонирования, которая опубликовала в 1921 и 1922 гг. весьма подробный отчет о своей работе в шведском журнале *Betong*.¹ В отчете дано описание примерно 30 работ, исполненных с применением подводного бетонирования на ряде гидротехнических сооружений в Швеции.

В последнее время появились статьи в американских и английских журналах, также посвященные исследованию свойств подводного бетона и выяснению зависимости этих свойств от способа укладки бетона под водой. Неоднократно ставились и лабораторные опыты, имевшие задачей выяснить наилучший состав бетона для подводного бетонирования и ряд других вопросов (водонепроницаемость, прочность и т. д.).

Серия опытов была проведена, например, в 1934—1935 гг. в США при постройке опор моста Сан-Франциско — Окленд.

Подводное бетонирование, широко распространенное в Швеции, постепенно проникло в другие страны и в СССР. Оно применяется при создании фундаментов маяков, при возведении набережных и мостов, при постройке плотин (плотина Jons'a на р. Роне, Франция), молов, перемычек и т. д. При этом подавляющее большинство случаев успешного применения подводного бетонирования падает на метод вертикально перемещающейся трубы.

Названный метод при хорошей подготовке и организации процесса производства работ и при правильном его применении дает блестящие результаты, причем получаемый под водой бетон оказывается по качеству не хуже бетона, отлитого на воздухе обычным способом.

В СССР метод вертикально перемещающейся трубы до последнего времени не имел широкого распространения. В литературе упоминаются единичные случаи. Объясняется это, с одной стороны, отсутствием специальной литературы по вопросам подводного бетонирования, а с другой — некоторым недоверием строителей к такому способу производства работ, при котором нельзя увидеть результата работы до ее окончания.

Однако в самое последнее время в СССР имели место случаи успешного применения способа вертикально перемещаю-

¹ *Betong Meddelanden fram Svenska Betongforeningen* № 2, 1921 и № 2 1922.

H. L. e n a n d e r, *Undervattensbetong*, *Teknisk Tidskrift* № 30, 1928.

щейся трубы в значительных масштабах при возведении весьма ответственных сооружений.¹ Эти случаи, являясь почином в области внедрения рациональных методов подводного бетонирования, должны дать толчок к дальнейшему широкому применению метода вертикально перемещающейся трубы в нашем строительстве.

Следует отметить, что, упуская из виду основную идею подводного бетонирования — изолирование бетонной массы от воды при ее проникновении сквозь толщу воды и недопущение соприкосновения ее с водой в момент укладки на место, — иногда делают попытки «бетонирования через трубу», — попытки плачевные, приводящие к ложному представлению о надежности самого метода.

Здесь невольно приходит сравнение со сваркой металлических конструкций. Качество сварочного шва настолько же зависит от внимательной работы и искусства сварщика, насколько подводное бетонирование — от правильной организации рабочего процесса, непрерывности его и искусства рабочих, работающих на лебедке, поднимающей трубу. И совершенно так же, как недоброкачественная сварка не дает основания сомневаться в надежности этого метода соединения металлических частей сооружения, — плохо выполненный подводный бетон дает основание сомневаться лишь в правильности производства работы и подготовленности технического персонала к выполняемой им работе по подводному бетонированию. Дело заключается не только в том, чтобы применить трубу для укладки бетона, но и в том, чтобы правильно пользоваться ею, не давая возможности бетону выскользнуть целиком из трубы, так как при этом произойдет заполнение ее водой и работа будет испорчена. Далее мы подробно опишем все детали производства работ и обычные ошибки, здесь же нам хотелось особенно подчеркнуть основную идею подводного бетонирования — изолирование бетона от воды при его транспорте и укладке.

Помимо обычных требований, предъявляемых к бетонным сооружениям, при подводном бетонировании исключительное внимание должно быть уделено составу бетона. Вопрос этот приобретает особую остроту в связи с тем, что бетонная масса, находясь в непосредственном соседстве с водой, не должна распадаться на свои составные части. Как мы увидим дальше, наряду с этим бетонная масса должна обладать хорошей подвижностью, легко растекаться и заполнять все уголки опалубки.

В направлении соблюдения этих не всегда легко совместимых свойств и должен идти подбор бетонной смеси для подводного бетонирования.

Учитывая то обстоятельство, что подводное бетонирование

¹ Например, работы по реконструкции моста им. лейтенанта Шмидта в Ленинграде. Материалы, связанные с этой работой, еще не опубликованы в печати.

обычно применяется для получения массивов, приходится считаться с поведением бетона «в массе»¹ в отношении вышеуказанных свойств, так как оно может резко отличаться от поведения бетона в небольших количествах. В связи с этим желательно проведение предварительных опытов для проверки выбранного состава бетона путем бетонирования больших образцов, расположенных на соответствующих глубинах.

Выше мы упоминали еще об одном специфическом требовании к подводному бетонированию — о непрерывности процесса работы. Вся работа по возможности должна быть произведена в одну операцию. В случае невозможности провести это для всего объекта необходима надлежащая разбивка сооружения на отдельные блоки.

Оборудование для подводного бетонирования отличается простотой и дешевизной. В случае бетонирования с помощью раскрывающихся ящиков стоимость оборудования и его сложность несколько выше, так как необходимо изготовление специальных ящиков; ящики обычно изготавливаются из металла со створчатым дном, наподобие грейферного захвата. Для опускания, поднимания и открывания ящика необходима крановая установка соответствующей грузоподъемности. Прочее же оборудование, имеющее целью заготовку и подачу бетона от бетономешалки к загрузочному бункеру, ничем не отличается от обычно принятого на бетонных работах. В случае применения метода вертикально перемещающейся трубы специальное оборудование сводится к металлической круглой трубе диаметром 250—300 мм, подвешенной на лесах, и к лебедке для поднимания и опускания трубы.

Метод бетонирования через трубу, перемещающуюся в двух направлениях, при всей его ненадежности представляет наибольшее затруднения и в смысле оборудования.

При этом методе, так же как и при методе вертикально перемещающейся трубы, необходима металлическая труба. Зигзагообразное перемещение трубы по всей площади, подлежащей бетонированию, вызывает необходимость в применении особой тележки, допускающей такого рода перемещения. При значительной длине трубы, порядка 10 м и более, вес ее, вместе с находящимся в ней бетоном, оказывается настолько велик, что перемещения платформы, на которой укреплена труба, становятся крайне затруднительными.

Метод бетонирования под водой отвалом от берега с втрамбовыванием бетона в массу уже насыпанного бетона не требует никакого дополнительного оборудования по сравнению с применяемым обычно на бетонных работах.

Из приведенного обзора специфики подводного бетонирования становятся ясными те преимущества, которые имеет этот способ возведения подводных оснований по сравнению со способами, требующими применения водоотлива. Успешно конку-

¹ Под массой в данном случае понимаются большие количества бетона.

рируя с методами укладки бетона насухо в отношении качества получаемого материала, метод вертикально перемещающейся трубы, например, выгодно отличается простотой и дешевизной оборудования, позволяя в короткий срок уложить под водой значительные количества бетона. Далее мы опишем все упомянутые методы подводного бетонирования, иллюстрируя их по возможности примерами исполненных работ. Это даст возможность читателю выбрать в случае надобности наиболее подходящий метод и целесообразно его применить.

Будут рассмотрены также и вопросы подбора бетона для подводного бетонирования с учетом тех специфических требований, о которых упомянуто выше.

В перечислении методов подводного бетонирования не фигурирует метод получения под водой массивов путем заливки каменной наброски цементным раствором. Этому методу посвящен специальный раздел в данной книге.

ГЛАВА I

МЕТОДЫ ПОДВОДНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ С ЧАСТИЧНЫМ ИЗОЛИРОВАНИЕМ БЕТОНА ПРИ ЕГО УКЛАДКЕ ПОД ВОДОЙ

1. Подводное бетонирование с укладкой бетона насухо

Подводным бетонированием мы называем такой процесс производства бетонных работ под водой, когда укладку бетона производят непосредственно в воде с помощью соответствующих приемов, не прибегая к водоотливу. Однако бетон может быть уложен под водой и насухо. В этом случае название «подводное бетонирование» может быть приложено к рассматриваемому процессу, ничем по существу не отличающемуся от обычной кладки бетона на воздухе, только в переносном смысле, характеризуя исключительно нахождение уложенного насухо бетона под водой.

Обычным методом такого рода подводного бетонирования, как мы отмечали выше, служит укладка бетона за перемычками с помощью водоотлива, применение бездонных и понтонных ящиков, опускных колодцев и кессонов. Не останавливаясь на деталях устройства этих сооружений, описанных в специальных трудах, посвященных устройству подводных оснований,¹ отметим, что в случае использования их для целей укладки бетона под водой, они, за исключением кессонов, обычно играют одновременно роль опалубки для бетона, хотя иногда сооружается и специальная опалубка.

2. Подводное бетонирование путем непосредственного погружения бетона в воду

Метод этот представляет в настоящее время только исторический интерес. Он применялся еще в глубокой древности. Ука-

¹ См. например, проф. И. А. Савринович, Подводные основания, ОНТИ, 1932.

зания на применение этого метода в гидротехническом строительстве можно встретить, например, у Витрувия (книга V, гл. 12).¹ В настоящее время этот метод используется иногда только по неопытности строителей.

Причина непригодности этого метода заключается в том, что происходит размывание бетона и раздельное осаждение частиц на дно.

Процесс осаждения частиц песка и цемента мельче 1 мм подобен процессу, наблюдаемому при анализе грунтов методом отмучивания. Более мелкие фракции осаждаются медленнее, таким образом более крупные фракции оказываются внизу. Фракции размером от 0,1 мм и ниже до частиц диаметром 0,3 м при своем падении подчиняются закону Стокса.²

В бетонной смеси, кроме крупных заполнителей, имеется мелкий песок с крупностью зерен от 0,1 мм и ниже, а также цемент, крупность частиц которого находится в пределах от 0,233 мм (что соответствует сити с 900 отв./см²) до нескольких микрон. При этом через сито с отверстиями 0,093 мм, что соответствует 4900 отв./см², должно проходить не менее 80% цемента.³

Таким образом, из этих цифр можно усмотреть, что мелкий песок (< 0,1 мм) и цемент, подчиняясь закону Стокса, в воде неминуемо разделятся и упадут в соответствии с крупностью. Получатся слои, причем более тонкий порошок цемента окажется наверху, под ним будет песок, а еще ниже — более крупные заполнители, разделения которых в соответствии с законом Стокса может и не произойти, ибо падение крупных частиц в заметной степени подвержено влиянию силы инерции. По этой причине все попытки введения бетона в воду без каких-либо приспособлений обречены заранее на неудачу. Это обычно подтверждается и практикой.

3. Подводное бетонирование с помощью подачи бетона под воду в бадьях, мешках и раскрывающихся ящиках

В этом методе бетон, изготовленный на воздухе, нагружается в бадьи или мешки и опускается под воду с помощью кранового устройства. Под водой бадья опрокидывается либо специальным приспособлением, либо при помощи водолаза. Заполненные бетоном мешки особым образом завязываются. Будучи опущены под воду на место укладки бетона, мешки развязываются с поверхности воды и бетон из них высыпается. Раскрывающиеся ящики представляют усовершенствование этого метода и находят довольно широкое применение в современной практике, в особенности при бетонировании на больших глубинах. Ящики

¹ Витрувий, Десять книг об архитектуре, Изд. Всесоюзной академии архитектуры, Москва, МСМ XXXVI.

² Н. А. Цитович, Основы механики грунтов, стр. 269, ОНТИ, 1934.

³ ОСТ 3191 и 3192.

обычно изготавливаются из металла и имеют устройство, позволяющее открыть их дно при достижении места укладки бетона под водой.

Метод подачи бетона под воду в бадьях с последующей укладкой на месте и разравниванием водолазами применялся давно.

Метод этот был применен, например, в 1866 г. инж. Thom. C. Clarke при постройке моста Quinsy через р. Миссисипи.¹ Вся работа по возведению оснований была произведена без применения сжатого воздуха. Широко использовался труд водолазов для ведения подводных работ (рис. 2).

Этот метод сопряжен со значительной опасностью вымывания цемента из бетонной массы при опрокидывании бадьи во время ее разгрузки. Нет никаких оснований рассчитывать на получение однородной массы под водой.

Рассматриваемый метод следует считать устаревшим; он безусловно не может быть рекомендован к применению.

Подводное бетонирование с помощью развязывающихся мешков имеет много общего с методом опрокидных бадей.

Как упоминалось выше, метод этот состоит в том, что готовая бетонная масса накладывается на воздухе в особые мешки. Мешки, наполненные бетоном, погружаются под воду и по достижении места укладки развязываются путем дергания за веревку, связывающую нижний конец мешка. Бетон выходит из мешка и распределяется на месте укладки. Рассматриваемый метод сохраняет все недостатки метода бетонирования под водой с помощью опрокидных бадей. Мешки зачастую развязываются, еще не достигнув поверхности уложенного бетона. Бетон, вываливаясь из мешков, подвергается значительному вымыванию цемента. В результате подводные массивы получаются весьма слоистыми и вследствие этого обладают невысокой механической прочностью.

В качестве примера применения описываемого метода можно привести подводное бетонирование в 1928—1930 гг. одной из пристаней в СССР.

Головная часть пристани состоит из 13 поперечных рядов свай, расположенных на расстоянии 8—9 м друг от друга и перекрытых железобетонной ребристой плитой. Каждый поперечный ряд имеет 3 куста свай, причем каждый куст состоит из 4 железобетонных свай. Глубина воды от 5,7 до 9 м. На кусты свай надеты железобетонные цилиндры диаметром 2 м. Свободное пространство в цилиндрах заполнялось бетоном. Бетонирование колонн под водой, при наличии внутри каждого цилиндра 4 железобетонных свай, представляло сложную задачу, так как промежутки между сваями и между сваями и цилиндрами были очень незначительны. Для заполнения цилиндров бетоном был применен метод раскрывающихся мешков. Труба в данном

¹ Civil Engineering № 5, 1938, May, v. 8, p. 361—362.

случае, вследствие малых промежутков между сваями и стенками цилиндров, не могла быть применена.

Мешки заполнялись при помощи ведер на площадке, устроенной вокруг колонны на поверхности воды. На эту площадку сгружался бетон, подвозимый в вагонетках.

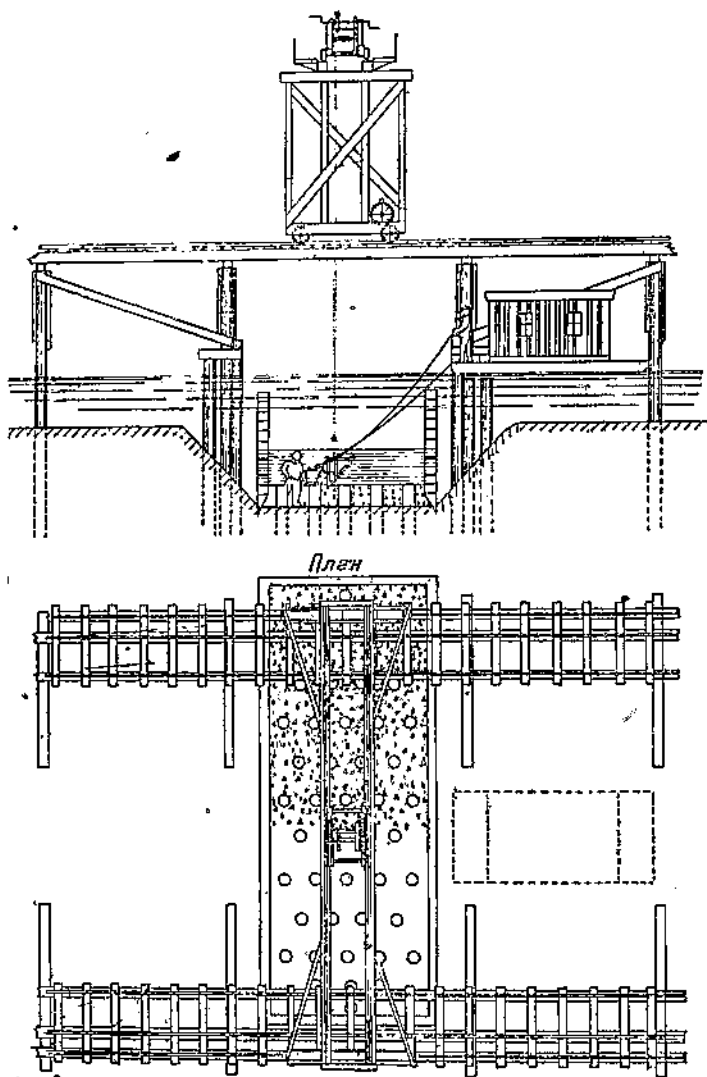


Рис. 2. Схема укладки подводного бетона при возведении моста Quinsy.

Брезентовые мешки с двух сторон по всей длине были прошиты канатами, оканчивающимися петлями, за которые они прикреплялись к опускаемым канатам.

Верхний край мешка по окружности также был обшит тон-

2 Подводное бетонирование. 1310

ГОДАВЛЕ. 1910
ИЗДАТЕЛЬСТВО
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО
ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ
1910

ким канатом, нижний край прошит рубцом. Для связывания нижнего края и для развязывания его после опускания служила тонкая бечева, длиной больше высоты колонны. Вместимость мешка была обусловлена возможностью маневрирования силой одного рабочего. В среднем вместимость мешка составляла 0,035—0,037 м³, при весе 70—74 кг. Состав бетона 1:3:6. Гравий — средней крупности — 3 см. Песок — морской крупный.

Как указывается в описании этой работы,¹ откуда нами заимствованы приведенные данные, качество подводного бетона было невысоко.

Можно с уверенностью сказать, что описываемый прием не обеспечивает возможности получения подводного бетона удовлетворительного качества и по этой причине он не может быть рекомендован к применению.

Подводное бетонирование с помощью раскрывающихся ящиков было широко применено в 1934—1935 гг. в США при постройке опор моста Сан-Франциско — Оклэнд.² Масштабы постройки одного из крупнейших мостов в мире позволили механизировать весь процесс подводного бетонирования.

Бетон для возведения опор моста был уложен в соленой морской воде на глубинах от 7,5 до 75 м. На малых глубинах — до 15 м — был применен метод вертикально перемещающейся трубы, а на больших глубинах — метод раскрывающихся ящиков.

Мост соединяет Alameda и San-Francisko. Длина моста — 13,6 км, из них около 6 км над водой. Общее количество опор — 51.

Всего было возведено 29 опор-колодцев. Каждый колодец вмещал от 3820 до 23 000 м³ бетона.

Укладка бетона в колодец производилась в одну непрерывную операцию.

Опоры имели вид сот, размеры оболочек опор около 24,0 × 38,0 м и 28 × 60 м. Диаметр колодцев для выемки грунта — 4,5 м. На нижнем конце оболочки опор колодцы соединялись в одну рабочую камеру, ограниченную ножом. Бетон укладывался под воду через эти колодцы на 6,1 м выше потолка рабочей камеры (рис. 79).

Для устройства опор в тех местах, где не требовалось применения опускаемых колодцев, были использованы перемычки из стального шпунта. Внутри перемычек после разработки котлованов были устроены свайные основания.

При подборе бетона для подводного бетонирования большое внимание было уделено поведению бетона «в массе» в отношении склонности к распадению, способности течь и тенденции к самоуплотнению. Условия укладки бетона в сооружение под

¹ Проф. А. Г. Федоров, Свайные основания и сооружения, ОГИЗ, 1932.

² T. S. Stanton, Cement a. Concrete Control San-Francisko—Oakland bay Bridge, Journal of the Amer. Concr. Inst. № 1, 1935, v. 7.

S. M. Hands, Underwater concrete mixtures and placement San-Francisko — Oakland bay Bridge, Journal of the Amer. Concr. Inst. № 7, 1936, v. 7.

водой были особенно трудными. Бетон должен был не только заполнить все пространство рабочей камеры, но и пройти без распадаения через препятствия в виде торчащих голов свай (в опорах со свайным основанием). Были проведены обширные лабораторные испытания с целью подбора наиболее подходящего состава бетона.

Временное сопротивление на сжатие, среднее из результатов испытания 497 полевых образцов в виде цилиндров, составляло через 28 дней 3721 фунт/дм², что соответствует для кубика размером $30 \times 30 \times 30$ см — 355 кг/см².¹

Буровые скважины, пробуренные сквозь уложенный бетон, показали полную однородность материала.

Образцы через год имели временное сопротивление на сжатие около 5000 фунт/дм², что соответствует для кубика размером $30 \times 30 \times 30$ см — 478 кг/см².

Подобранный в лаборатории гранулометрический состав заполнителей тщательно контролировался на стройке. Допускалось отклонение для количества тех или иных фракций в пределах 5%. Наибольший размер заполнителей составлял 75 мм.

Сухая бетонная смесь заготавливалась на берегу и затем доставлялась в баржах к месту укладки. Каждая баржа вмещала 241 м³ сухой смеси. Бетон приготавливался на плавучем бетонном заводе, оборудованном четырьмя бетономешалками. Нагрузка на баржи и разгрузка с них сухой смеси производились с помощью ленточных транспортеров.

Влажность сухой смеси определялась при смешивании, но ввиду того, что предполагалась потеря воды при перевозке готовой смеси к месту укладки бетона, производилось вторичное определение влажности (на бетонном заводе) перед замесом. Существенную часть оборудования составляли бункеры и раскрывающиеся ящики. Замесы из бетономешалок передавались ленточными транспортерами в приемные бункеры. Из последних производилась загрузка раскрывающихся ящиков.

Раскрывающиеся ящики применялись двух типов. На рис. 3 изображен ящик для укладки бетона в самые нижние части камеры колодца. Он имеет особые стержни в верхней части, идущие к одной точке у подвеса. Назначение этих стержней — предохранить ящик от задевания за потолочную часть рабочей камеры при подъеме. На рис. 4 изображен ящик, примененный для укладки бетона в пространство выше потолка рабочей камеры колодца. Здесь ограждающие стержни отсутствуют, так как бетон укладывался в цилиндрические шахты.

Ящик после наполнения бетоном покрывался сверху парусиной для предохранения бетона от размыва. Наполненные и закрытые парусиной ящики осторожно погружались в воду до тех пор, пока они целиком скрывались под нею. В противном случае парусина, которой был покрыт бетон, могла

¹ Мак-Миллан, Основные принципы приготовления бетона, стр. 132, ОНТИ, 1935.

быть сорвана водоворотом и поверхность бетона подвергнута вымыванию.

После укладки бетона под водой в рабочую камеру и на 6,1 м выше ее потолок вода из колодцев была откачана и оставшее пространство было заполнено бетоном насухо. Как показали наблюдения, поверхность бетона после осушения колодцев была покрыта слоем цементного шлама толщиной около 5 см. По удалении этого слоя были выпилены образцы. Прочность цилиндрических образцов оказалась на 28-й день от 3500 до 4000 фунт/дм.², что соответствует временному сопротивлению на сжатие кубов $30 \times 30 \times 30$ см от 335 до 382 кг/см².

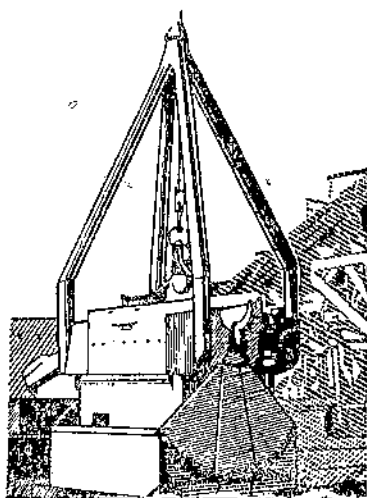


Рис. 3. Раскрывающийся ящик с ограждающими стержнями.

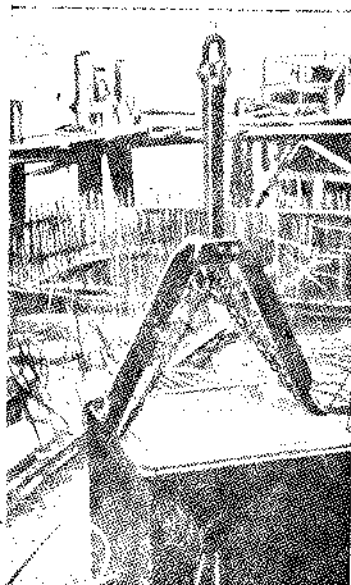


Рис. 4. Раскрывающийся ящик без ограждающих стержней.

Для получения данных относительно температуры, которая развивается в толще бетона, уложенного под водой по методу раскрывающихся ящичков, в различных местах были установлены дистанционные термометры. Так, например, один из термометров был установлен на глубине 66 м от горизонта воды.

Из подобных опытов, проведенных и на других быках моста, было найдено, что в толще бетона, уложенного под водой, может развиваться температура свыше 50°, хотя укладка бетона шла в воде с температурой менее 15°. Более подробные данные приведены ниже, в главе о подборе бетона для подводного бетонирования.

Из приведенного описания видно, что при тщательном подборе бетона и правильном выполнении работы метод раскрывающихся ящичков вполне применим для подводного бетонирования на большой глубине, где другие способы, более совершенные, неприемлемы.

Цифры временного сопротивления образцов на сжатие свидетельствуют о полной возможности получения бетона достаточно высокого качества, пригодного для ответственных сооружений. Сравнительно небольшой слой цементного шлама на поверхности бетона после осушения колодцев и результаты бурения также подтверждают возможность получения достаточно однородного материала.

Обращаясь к шведскому опыту по подводному бетонированию этим способом, отметим,

что в упомянутом выше отчете комиссии по изучению подводного бетонирования из описанных 30 случаев подводного бетонирования в Швеции около 20% были исполнены с помощью раскрывающихся ящиков.

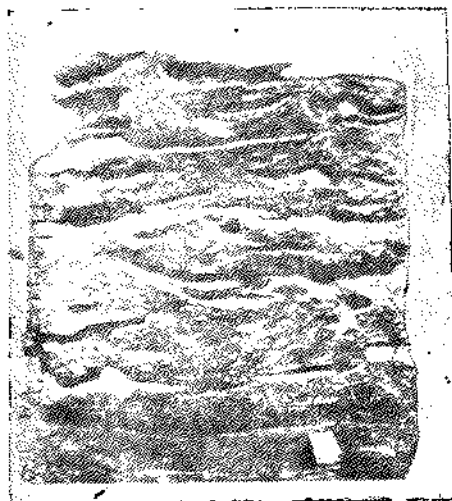


Рис. 6. Образец бетона, уложенного с помощью раскрывающихся ящиков.

цементного шлама толщиной 3 см. Бетон был прочный и однородный. Как видно, прием этот, не являясь доминирующим в Швеции, все же находил себе применение и давал положительные результаты. Однако наряду с этим имеются примеры

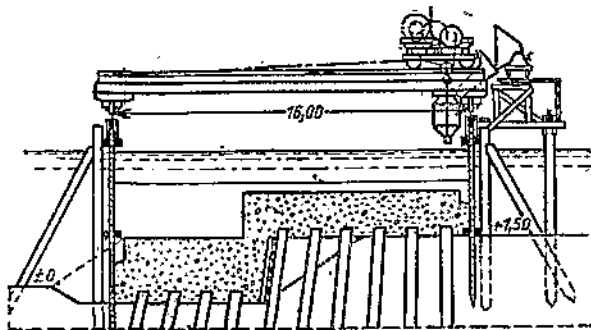


Рис. 5. Схема укладки бетона с помощью раскрывающихся ящиков.

Состав бетона принимался от 1:2:4 до 1:3:4. Емкость ящиков — от 0,15 до 0,8 м³. К сожалению, в отчете комиссии не приводится данных о количестве добавляемой воды.

На рис. 5 изображено бетонирование основания для восточного быка моста Klarabrug в Стокгольме с помощью раскрывающихся ящиков емкостью 0,8 м³.

Способ производства работ по существу ничем не отличается от описанного для моста в Сан-Франциско — Окленд. Состав бетона был принят 1:3,5:3,5. После откачивания воды поверхность бетона была покрыта слоем

получения крайне неоднородного материала.¹ Так, на рис. 6 изображен образец бетона, уложенного с помощью раскрывающихся ящиков, имеющий крайне неоднородное строение. Образец чрезвычайно слоистый, с наличием заполнителей, не связанных цементным камнем.

Переходя к общей оценке этого метода, следует указать, что он сохраняет свое значение и в настоящее время. В тех случаях, когда по условиям возведения сооружения требуется производить бетонирование под водой на значительной глубине, этот метод является единственно применимым, причем имеется полная возможность получить бетон удовлетворительного качества. Правда, в этом методе не исключена полностью опасность вымывания цемента из бетонной массы при открывании ящика у места укладки.

4. Подводное бетонирование на малых глубинах с помощью втрамбовывания бетона и отвала бетона от берега

Эти довольно редко применяемые методы имеют успех при бетонировании на небольших сравнительно глубинах, порядка

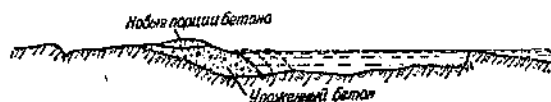


Рис. 7. Схема укладки бетона с помощью втрамбовывания от берега.

1—1,5 м. Первый метод достаточно рационально решает проблему изолирования свежих порций бетона от непосредственного соприкосновения с водой.

Путем втрамбовывания бетона было возведено основание плотины близ Парижа. Производство работ схематически изображено на рис. 7.

В описываемом случае была применена модификация этого метода, а именно — была использована сухая бетонная смесь. Скала основания возвышалась в некоторых местах над горизонтом воды. Бетонная смесь сбрасывалась у самого высокого места и медленно сдвигалась в воду. Свежие порции бетонной смеси укладывались на уложенный ранее бетон и втрамбовывались в него так, что масса постепенно раздавалась под водой. Таким образом вновь насыпанный материал не приходил в соприкосновение с водой.

На этой постройке описываемый метод дал прекрасные результаты и оказался значительно более дешевым и производительным, чем другие, например укладка с помощью труб или раскрывающихся ящиков.

Второй метод нашел широкое применение в портовом строительстве, именно при возведении портовых сооружений на строительстве военного порта на острове Гельголанд (1908—1916 гг.).²

¹ Л. Бренке и Э. Ломейер, Основания и фундаменты, т. III, ОНТИ, 1936.

² Eckhardt, Die Bautechnik № 37, 1929.

Территория порта была возведена путем рефулирования. Западная стенка, ограничивающая территорию (рис. 8), возведена с помощью подводного бетонирования в условиях небольших глубин. На этом участке глубина воды в отлив составляла в среднем 1 м. Прилив у Гельгоlanda равняется примерно 2,50 м. Фундаментная часть стенки возводилась в малую воду следующим образом: предварительно на очищенное от наносов скалистое дно были уложены два вала из мешков, наполненных бетоном. Бетон был смешан почти насухо и смочен лишь настолько, чтобы цемент не пылился. С целью достижения возможной плотности укладки мешки были набиты бетонной смесью не вполне туго. Мешки укладывались по возможности в перевязку, что довольно хорошо удавалось сделать и под водой, так как муть от бетона быстро удалялась течением.

Валы из мешков с бетоном имели ширину около 1,5 м и выступали над ординаром на 0,6 м. Расстояние между валами составляло около 4,0 м. Работа начиналась с отливом и производилась до момента поднятия воды. Бетон отвердевал в промежутках между отливами, и при следующем отливе валы были столь крепки и устойчивы, что могли служить ограждением для бетона, который укладывался в промежутках между валами.

Для подводного бетонирования между ограждениями была устроена также из мешков с бетоном небольшая площадка в месте примыкания валов к скале у берега.

Площадка переходила уклоном 1:2 в воду. На эту площадку насыпался готовый довольно сухой бетон и затем медленно спускался по откосу, так что он постепенно сползал в воду и заполнял пространство между валами.

Производительность укладки составляла в среднем около 5 м по длине стенки за один отлив.

Иногда удавалось бетонировать до 10 пог. м. При подъеме воды работы прерывались; откос оставался в том виде, в каком его заставал перерыв в работе. Поверхность готового фундамента перед приливом всегда основательно утрамбовывалась, но, как правило, никогда не защищалась. Волны часто катились по свежесложенному бетону, не нанося ему значительного ущерба.

При сильном волнении свежесложенный бетон покрывали парусиной и нагружали ее рельсами; однако вскоре пришлось убедиться, что это не приносит пользы. Парусина, несмотря на груз, приходила в движение и этим увеличивалось вымывание цемента,

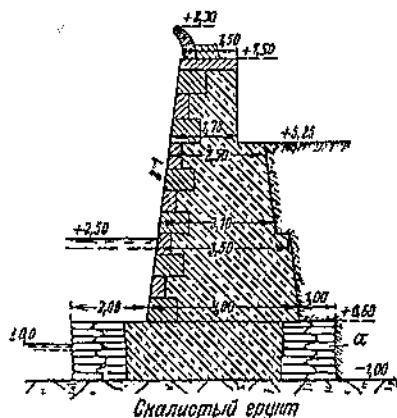


Рис. 8. Разрез стенки западного мола (остров Гельголанд).

Несмотря на имевшиеся затруднения, в результате, как отмечается в описаниях этой работы, был получен безукоризненный бетон.

Многочисленные образцы, взятые в качестве проб из бетона вала и бетона собственно фундамента (между валами), показали, что бетон при ударе звенел, имел большую плотность и сравнительно высокую прочность.

Этот метод работы применим для глубин до 2 м и представляет известные преимущества по сравнению с методом бетонирования через трубу. Метод втрамбовывания бетона в данном случае применить было бы весьма затруднительно, так как длина бетонируемой узкой ленты достигала нескольких сот метров. Что касается валов, возведенных из бетона в мешках, то оказалось, что они были вполне устойчивы; мешки настолько хорошо связывались между собой, что с трудом отделялись. После устройства описанным методом фундамента не представляло больших затруднений, пользуясь отливками, возвести всю стенку насухо. На рис. 8 изображена готовая стенка, выведенная на полную высоту. Все работы велись в строгой последовательности. На самом дальнем от берега крае шла укладка мешков а с бетоном, несколько ближе производилось бетонирование пространства между валами, а еще ближе к берегу происходила установка гранитной облицовки и укладка бетона насухо.

При подъеме воды во время прилива рабочие переходили на более высокие места, меняя характер работы. На участках, лежащих выше приливного горизонта, в нормальную погоду работа шла непрерывно.

Для бетонирования некоторых более глубоких мест по оси стенки применялись раскрывающиеся ящики и опалубка из деревянных щитов, укреплявшихся на каменистом грунте дна с помощью металлических шпунтовых свай.

Описанным выше методом был возведен фундамент для стенки длиной 440 м. Мы не останавливаемся здесь на составе применявшегося бетона по той причине, что при описании метода бетонирования через трубу, перемещающуюся в двух направлениях, мы вернемся снова к этой же работе на острове Гельголанд. Там и будут приведены данные, касающиеся состава примененного бетона.

5. Бетонирование под водой путем укладки бетона в мешках

Используя этот метод, нельзя рассчитывать на полную монолитность сооружения, тем не менее его следует описать особо, так как он дает положительные результаты.

Мы коснулись уже случая применения этого метода в комбинации с укладкой бетона под воду отвалом от берега при описании постройки стенки на острове Гельголанд. Можно привести и более ранние примеры. В частности, при постройке южного мола Абердинского порта (Англия), законченного в 1873 г.,

был применен этот метод,¹ так как попытки применения всех других известных в то время методов подводного бетонирования не дали положительных результатов.

Работа производилась следующим образом. После удаления слоев слабого грунта укладывали мешки с жидким бетоном, на которых выводили стенку из бетонных массивов весом от 9 до 24 т каждый. На строительстве Абердинского порта мешки наполнялись жидким бетоном, а на строительстве острова Гельголанд почти сухой смесью.

Следует отметить, что работа с сухой смесью, слегка увлажненной и насыпанной в мешки, несравненно более проста, чем с жидким бетоном, неизбежно просачивающимся сквозь ткань мешка. Вообще же метод этот применим для создания временных перемычек, всякого рода уплотнений и проч. в тех случаях, когда не требуется получения однородного массива заданного качества.

6. Бетонирование под водой с помощью трубы, перемещающейся в двух направлениях

Переходим к одному из весьма распространенных, несмотря на ряд недостатков, методов подводного бетонирования, именно — к методу бетонирования через трубу, перемещающуюся в двух направлениях. В этом методе осуществлена идея изолирования бетона при его проникании сквозь толщу воды, но бетон, выходя из нижнего отверстия трубы, непосредственно соприкасается с водой, что обычно и является основной причиной низкого качества получаемого под водой материала. Кроме того бетон получается слоистым. Метод этот довольно сложен и требует, как увидим далее на примерах, большого количества оборудования.

Бетон укладывается лентами, последовательными слоями (рис. 9). После укладки одного слоя труба приподнимается на некоторую высоту, соответствующую толщине укладываемых слоев, и операция повторяется.

В случае большой высоты бетонирования, иногда укладку производят через несколько труб одновременно. Тогда каждый слой для своей укладки имеет отдельную трубу. Этот прием создает точность работ и дает экономию времени.²

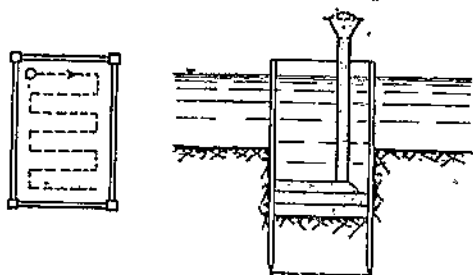


Рис. 9. Схема укладки бетона с помощью трубы, перемещающейся в двух направлениях.

¹ Б. Кандыба, Об устройстве оградительных внешних портовых сооружений из искусственных массивов, 1901.

² W. Nakonz, Unterwasserschüttbeton, Die Bautechnik № 3, 1930.

Перемещение трубы осуществляется либо путем укрепления ее на тележке, передвигающейся в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, либо путем подвешивания к крану-деррику. На рис. 10 изображено оборудование для подводного бетонирования с применением тележки, на которой укреплена труба.

Подводный котлован, дно которого расположено на 2,5 м ниже дна реки, огражден металлическим шпунтом. Площадь, подлежащая бетонированию, составляет $5,5 \times 13,2$ м. Глубина

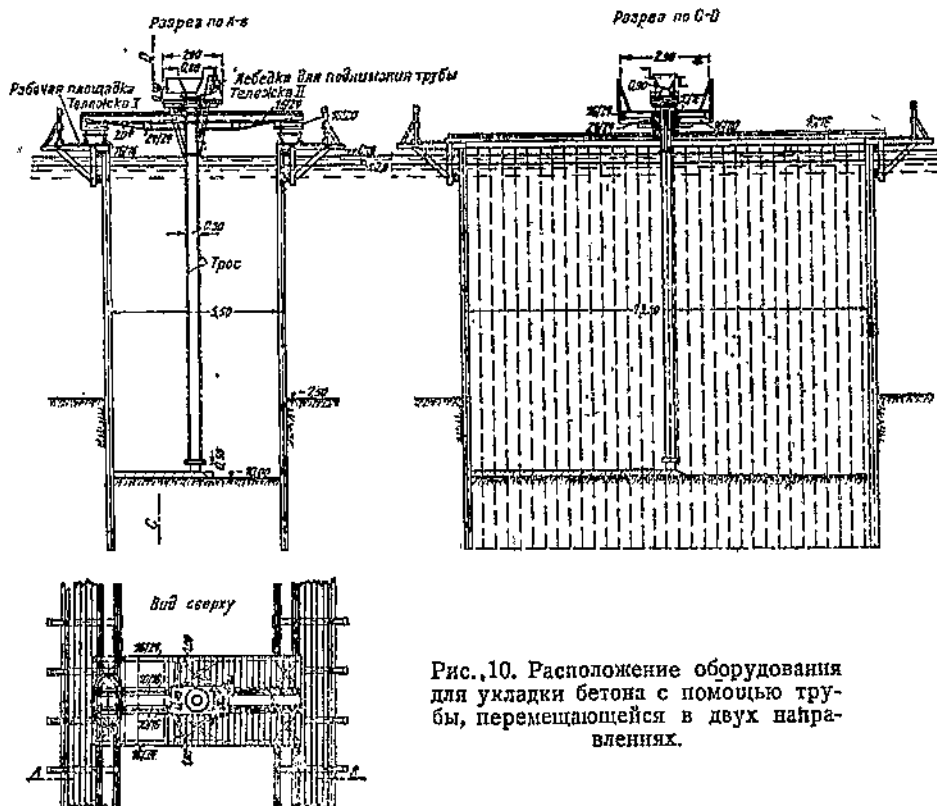


Рис. 10. Расположение оборудования для укладки бетона с помощью трубы, перемещающейся в двух направлениях.

котлована — около 10 м. К верхнему краю шпунта прикреплены деревянные подмости и на верхнем же краю продольной стенки котлована уложены двойные рельсовые пути. По этим продольным путям перемещается нижняя тележка, перекрывающая пролет в 5,5 м и имеющая ширину 2,9 м. В этой тележке сделана прорезь, сквозь которую проходит труба, укрепленная на верхней поперечной тележке. На поперечной же тележке установлена лебедка для подъема трубы, что является необходимым при переходе от одного слоя к другому. Иногда вместо довольно сложной системы тележек применяют кран-деррик. Схема этой установки изображена на рис. 11.

При сооружении моста через р. Шелмортельф (Швеция) труба

была подвешена к крану-деррику, с помощью которого она и перемещалась. Труба заполнялась бетоном в особой последовательности. В стенках трубы были боковые запирающиеся отверстия, причем расстояние между ними по вертикали было равно разности отметок рабочей площадки и горизонта воды.

Нижний конец трубы запирался с помощью особой задвижки.

Перед началом работы труба для наполнения бетонной смесью поднималась настолько, чтобы задвижка на нижнем конце трубы касалась поверхности воды. В первое, считая снизу, боковое отверстие загружалась бетонная смесь, после чего отверстие закрывалось. Затем труба опускалась до тех пор, пока второе отверстие оказывалось на уровне рабочей площадки. При этом поверхность ранее загруженной в трубу бетонной смеси была на уровне горизонта воды.

После заполнения бетонной смесью всей трубы нижнее ее отверстие оказывалось на отметке дна котлована. Далее приступали к бетонированию. Нижняя задвижка (у конца трубы) выдергивалась сверху, с помощью каната, и бетонная смесь начинала выходить к месту укладки.

Толщина слоев бетона — 30 см, ширина — около 1 м. Особое внимание обращали на то, чтобы бетонная смесь в трубе не опускалась ниже поверхности воды. Процесс бетонирования

продолжался непрерывно в течение 3 дней и 2 ночей. После 21-дневного затвердевания бетона вода из котлована была выкачана. Отмечается, что бетон получился твердым и плотным.

Сравнивая метод укладки бетонной смеси через трубу с описанным выше методом отвала от берега можно отметить их принципиальное сходство (см. стр. 22). Однако метод бетонирования отвалом от берега имеет значительное преимущество, заключающееся в том, что поверхность уложенного бетона находится на поверхности воды и таким образом все время виден процесс работы. Бетон постепенно сползает в воду, не теряя связи с уложенной уже массой. При бетонировании же через трубу под водой, на известной глубине, возникает значительное затруднение. Оно состоит в том, что не представляется возможным контролировать ход вытекания бетона из трубы. В описанном случае бетонирования на р. Шелмортельф строителям, по-видимому, удалось осуществить полную согласованность двух процессов — вытекания бетона из трубы и скорости перемещения трубы, но, к сожалению, в шведских источниках, откуда заимствовано описание этой работы, нет указаний на то, каким образом это было достигнуто. В подавляющем большинстве случаев, описанных в мировой литературе, указывается на чрез-

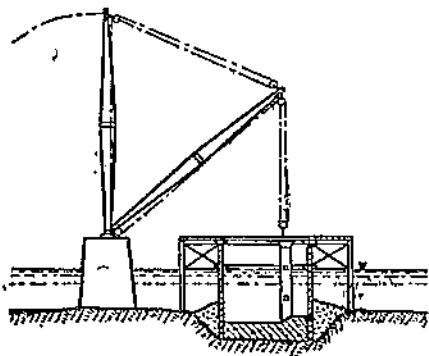


Рис. 11. Подвеска трубы для подводного бетонирования к крану-деррику.

вычайную трудность достижения этой согласованности. Большую роль играет при этом консистенция бетонной смеси, опыт производящего работу персонала, качество оборудования и т. д.

Обычный дефект производства работы по данному методу изображен схематически на рис. 12. Слева показан правильный, нормальный ход укладки бетона под водой. Труба постоянно заполнена бетоном. Масса бетона в трубе не теряет связи с массой уже уложенного бетона. Скорость перемещения трубы согласована со скоростью вытекания бетона из нижнего отверстия. Благодаря этому можно ожидать получения бетона удовлетворительного качества. Справа показан результат несогласованности этих процессов. В результате быстрого вытекания бетона из трубы и несколько медленного по сравнению с этим перемещения трубы вокруг отверстия образовалась горка бетона. При дальнейшем принудительном перемещении трубы в горизонталь-

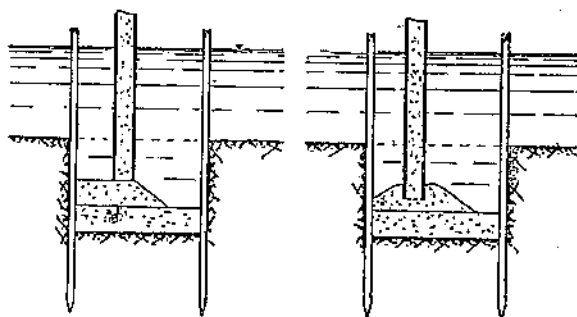


Рис. 12. Бетонирование с помощью трубы, перемещающейся в двух направлениях: слева — правильно, справа — неправильно.

ном направлении конец трубы взрыхляет эту горку, взмучивает бетон и последний приходит в негодность. Это явление часто приводит к крайне низкому качеству бетона, влекущему за собой катастрофы.

И все же этот метод до последних лет имел весьма широкое распространение.

При сооружении опор мостов в Голландии широко применялся метод подводного бетонирования через трубу, перемещающуюся в двух направлениях.¹ В качестве другого примера можно указать на постройку моста в Katerveer в 1929—1930 гг.

Из более давних примеров применения этого метода подводного бетонирования в Голландии можно указать на постройку моста Moerdijk в 1868—1872 гг., являвшегося в свое время величайшим железобетонным мостом в Европе.

Подводное бетонирование применялось в Голландии для двух целей:

1. Для изготовления подводной бетонной плиты, являвшейся вспомогательной конструкцией при сооружении свайного или иного основания. Она предназначалась для преграждения доступа воды в котлован. В качестве несущей конструкции такая бетонная пробка, уложенная на дно котлована, обычно не использовалась.

¹ G. C. Boonstra, Toepassing van beton voor Brugfundeering, De Ingenieur № 40 и 44, 1935, Bijlage tot „De Ingenieur“.

2. Для изготовления подводной бетонной плиты, являющейся несущей частью конструкции (фундаментной плиты, передающей нагрузку на грунт основания).

Еще раз следует подчеркнуть, что бетон, уложенный по этому методу, получается обычно слоистым. Таким образом применение названного метода, если и может быть допущено, то только для заглубленных частей фундамента.

На рис. 13 показана заглубленная часть быка I, возведенная с помощью подводного бетонирования. В случае применения этого метода для свободностоящих сооружений II, могут образоваться (ввиду отсутствия бокового сопротивления) плоскости скольжения и в результате произойдет катастрофа.

В качестве одного из примеров подводного бетонирования с помощью трубы, перемещающейся в двух направлениях, приведем описание постройки стенок набережных на острове Гельголанд.

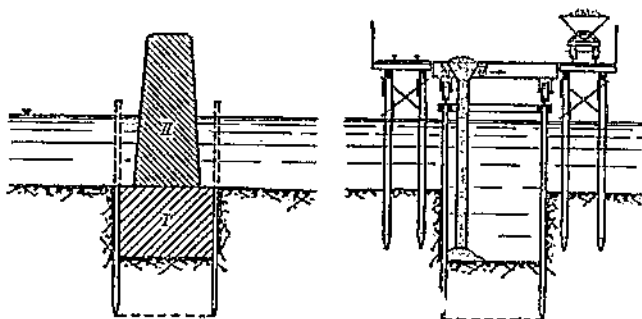


Рис. 13. Схема бетонирования трубой, перемещающейся в двух направлениях

I—бетон в заглубленной части; II—бетон свободно стоящего сооружения.

Для бетонирования участка фундамента западной стенки (рис. 14) на глубинах, превосходящих 2 м, был применен метод перемещающихся труб.

С обеих сторон по ширине сооружения были возведены эстакады из металлических двутавровых балок № 25. Двутавры поперку связаны и соединены диагональными схватками. На внутренних стойках укреплены консоли на 1,5 м ниже настила эстакады. На консолях уложены рельсы, по которым перемещалась деревянная ферма-платформа, перекрывающая пролет между эстакадами. Прорезь, имеющаяся в середине платформы, перпендикулярна к оси стенки. По краям прорези были уложены рельсы, по которым перемещалась вагонетка с укрепленной на ней трубой. Ширина платформы позволяла перемещаться по ней вагонеткам, подвозящим бетон, емкостью 0,5 м³. Труба перемещалась поперек сооружения с помощью ручной лебедки.

Когда вагонетка с трубой подходила к одному из концов платформы, последнюю перемещали немного вдоль сооружения. Вагонетка с трубой после этого постепенно передвигалась к другому концу платформы. Нижний конец трубы описывал, та-

ким образом, зигзагообразную линию. В качестве опалубки для бетона служили деревянные или железобетонные плиты, которые прикреплялись к полкам стоек эстакады и расклинивались водоласами. Для более плотного соединения плиты снабжались шпунтом. Деревянные щиты снаружи утяжелялись железом для предохранения от всплывания.

Бетон применялся трамбованный. Вагонетки подходили по эстакаде по одну сторону стенки, въезжали на платформу, разгружались в воронку трубы и затем по другой стороне эстакады возвращались назад.

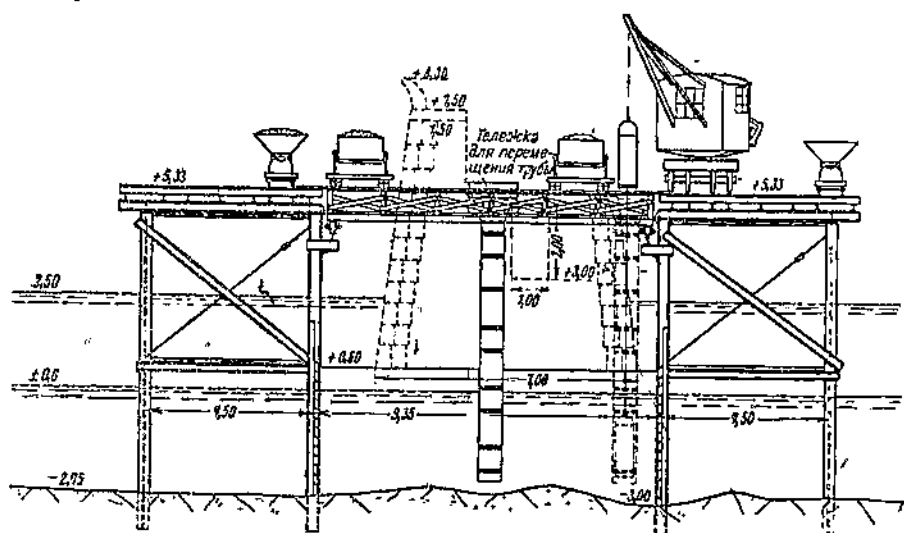


Рис. 14. Схема расположения оборудования для бетонирования с помощью трубы, перемещающей в двух направлениях (остров Гельголанд).

Бетон укладывался трубой на высоту около 1 м. Так как высота фундамента составляла несколько метров, то отсыпка бетона производилась несколькими трубами, следовавшими одна за другой.

Когда бетон достигал горизонта отлива, последний слой укладывался при высокой воде (в прилив). Как указывается в описаниях этой работы, бетонирование с помощью труб дало весьма плотный и хороший бетон.

Производство работы в значительной степени зависело от погоды. Часто случалось, что установленные опалубки на другой день разбивались волной.

Волны высотой до 40 см не мешали бетонированию, когда бетон лежал на несколько метров ниже поверхности воды. В тех случаях, когда волна становилась настолько сильной, что начинала раскачивать трубу, приходилось прерывать бетонирование. После перерывов в бетонировании, которые, как правило, не допускались, тщательно удалялись частицы песка и гравия от подножия отсыпанного бетонного откоса.

Для устройства набережных во внутренней гавани (рис. 15) были широко применены ряжи. Потребность расширения территории заставила установить перед ряжами бетонную стенку толщиной от 1,5 до 2,0 м. Стенка была выведена с помощью подводного бетонирования до высоты отливного горизонта. Работа производилась по методу перемещающейся трубы.

Перед ряжами была установлена опалубка из железобетонных плит; она опиралась на сваи из двутаврового железа № 20, забитые на расстоянии 2,0 м одна от другой. С внутренней стороны опалубкой служили сами ряжи. Бетонная стенка была скреплена с ряжами бетонными анкерами.

На строительстве острова Гельголанд для затворения бетона применялась исключительно морская вода.

Как указывается в описании этой работы, основанием послужило небольшое количество растворенных в воде солей и, с другой стороны, то соображение, что укладываемый под воду свежий бетон все равно очень трудно предохранить от действия морской воды.

Перед началом работ были проведены в большом количестве лабораторные испытания, причем образцы затворялись как на простой, так и на морской воде.

Опыты, продолжавшиеся около 10 лет, не обнаружили вредного влияния морской воды.

В первый год постройки применялся исключительно портланд-цемент. Для подводного бетонирования фундамента стенки бетон имел следующий состав: 1 часть цемента и 3 части заполнителей (по объему). Состав заполнителей значительно менялся, но в среднем состоял из равных частей песка и гравия.

В следующие годы к портланд-цементу добавлялся трасс.

Состав бетона для подводного бетонирования, вследствие того, что он в свежем состоянии попадал в соприкосновение с морской водой и оставался в этом контакте длительное время, был довольно жирный: 1 часть портланд-цемента, $\frac{2}{3}$ трасса, 2,5 части гравия (здесь имеется в виду гравий, в котором было 2 части гравия и 1 часть песка).

Другой применявшийся состав: 1 часть портланд-цемента, $\frac{2}{3}$ трасса, 3 части гравия или 1 часть портланд-цемента, $\frac{2}{3}$ трасса, 4 части гравия. Так как эти смеси очень медленно затвердевали, пришлось уменьшить количество трасса на $\frac{1}{3}$, так что смесь имела состав $1 : \frac{1}{3} : 3$ или $1 : \frac{1}{3} : 4$.

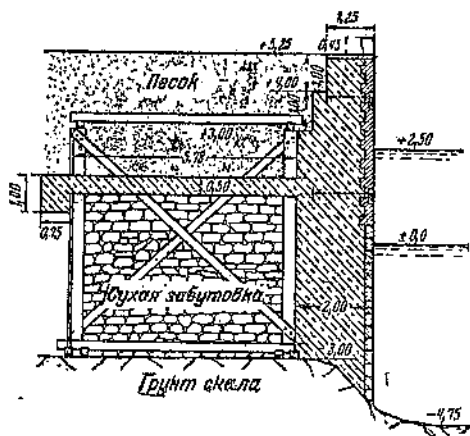


Рис. 15. Применение подводного бетонирования для возведения стенки-набережной.

В результате проведенных опытов, давших хорошие результаты, на работах в большом количестве был применен шлакопортланд-цемент. Состав подводного бетона был 1:5.

Наряду с приведенным примером удачного применения подводного бетонирования через перемещающуюся трубу, можно указать случаи, когда получался неудовлетворительный бетон. Следует отметить, что большее число аварий при укладке бетона по описываемому методу произошло в случаях попыток возведения свободностоящих сооружений.

В литературе по данному вопросу встречаются обычно указания, что этот метод следует применять лишь при возведении закладываемых в грунте фундаментов, ограниченных со всех сторон, тем не менее его применяют и в других случаях. При

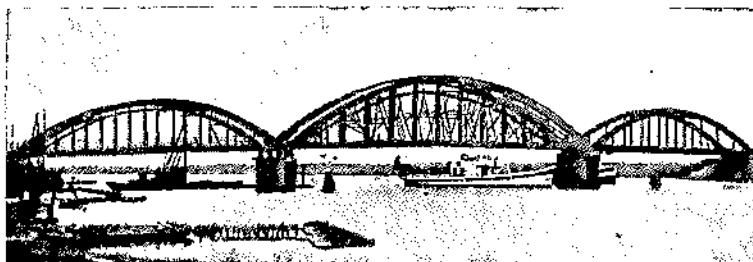


Рис. 16. Общий вид моста через р. Одер до катастрофы.

подводном бетонировании по методу перемещающейся трубы нельзя избежать слоистости, и так как слои могут быть не строго горизонтальными, то есть все основания опасаться скольжений по этим слоям.

Так, в Киле в 1911 г. была сделана попытка сооружения стены набережной Южного мола.¹ Стена имела толщину 10 м у подошвы и 6 м поверху. После снятия опалубки стена обрушилась на протяжении 220 м. Контрольный образец, изготовленный под водой, показал сильное расслоение бетона.

Другой случай, сопровождавшийся также катастрофой, произошел в 1926 г. при постройке железобетонного арочного моста через р. Одер близ Гарца. Здесь была сделана попытка возведения под водой свободностоящих быков путем бетонирования через трубу.

Причиной катастрофы явилась непрочность одного из быков, который обрушился и увлек за собой верхнее строение моста.²

Мост состоял из трех арочных ферм (рис. 16). Общая длина — около 134 м. Береговые пролеты имели длину 37,7 м. Средний пролет — 58,2 м. Ширина моста — 6 м.

¹ F. Trier, Die Verwendung von Unterwasserbeton in Sweden, Die Bautechnik № 8 и 10, 1930.

² F. R. Habicht, Die Eisenbetonüberbauten der Gartzter Brücke, ihr Verhalten beim Einsturz und ihre Verwendung, Beton u. Eisen № 1, 1927.

26 сентября 1926 г. должно было произойти открытие моста. Оставалось произвести некоторые отделочные работы и, кроме того, выдернуть шпунт, ограждавший котлованы, в которых были возведены опоры. Изображенные пунктиром на рис. 17 шпунты правого быка были уже удалены. Приступили к выдергиванию шпунтин, обозначенных буквами а—d. Была сделана попытка выдернуть их одновременно. Когда эти сваи были подняты, примерно на 2,5 м и отведены от быка приблизительно на 0,7—1,0 м, внезапно произошло обрушение быка. Ферма, опиравшаяся на него, упала в воду, и мост оказался в том виде, как показано на рис. 18.

Как обнаружилось при осмотре, правый бык сломался в зоне между 0,3—3,0 м над дном реки.¹ Верхняя часть тела быка, перемещаясь вертикально вниз, ударилась об оставшуюся стоять нижнюю часть быка и скользнула внутрь среднего пролета. Бурение, произведенное с целью определения качества фундамента, показало наличие слоистости в бетоне фундамента.

Вынутый из буровых скважин материал имел вид чистого песка и совершенно не был похож на разбитый буром хороший бетон. Конструкция быков изображена на рис. 19.

Фундаментная часть имела размеры $5,5 \times 13,20 \times 2,5$ м. Внутри котлована, огражденного металлическим шпунтом Larssen II, длиной в среднем 16,5 м, была установлена деревянная опалубка тела быка. Она шла от отметки $-7,5$ до отметки $+0,6$ м. Опалубка была загружена кам-



Рис. 18. Мост через р. Одер после катастрофы.

нем и расклинена с ограждающим шпунтом. На отметке $-7,5$ между нижним краем опалубки и шпунтом оставался просвет.

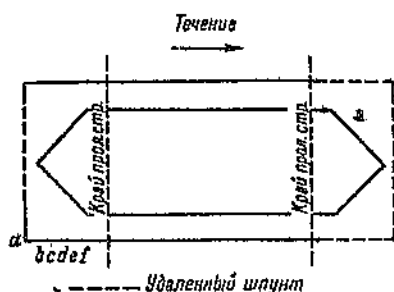


Рис. 17. Схема расположения шпунтов, ограждавших котлован разрушившегося быка.

¹ Gaye, Der Einsturz der Wirtschaftsbrücke bei Gartz a. d. Oder, Die Bau-technik № 12, 1931 и № 27, 1932.

Фундаментная часть и тело быка были забетонированы целиком под водой.

Бетонирование было произведено с помощью плавучего бетонного завода. Подача бетона от бетономешалки производилась по трубам.

На продольных стенках котлована были укреплены подмости и уложен узкоколейный путь. Соединение этого пути с попереч-

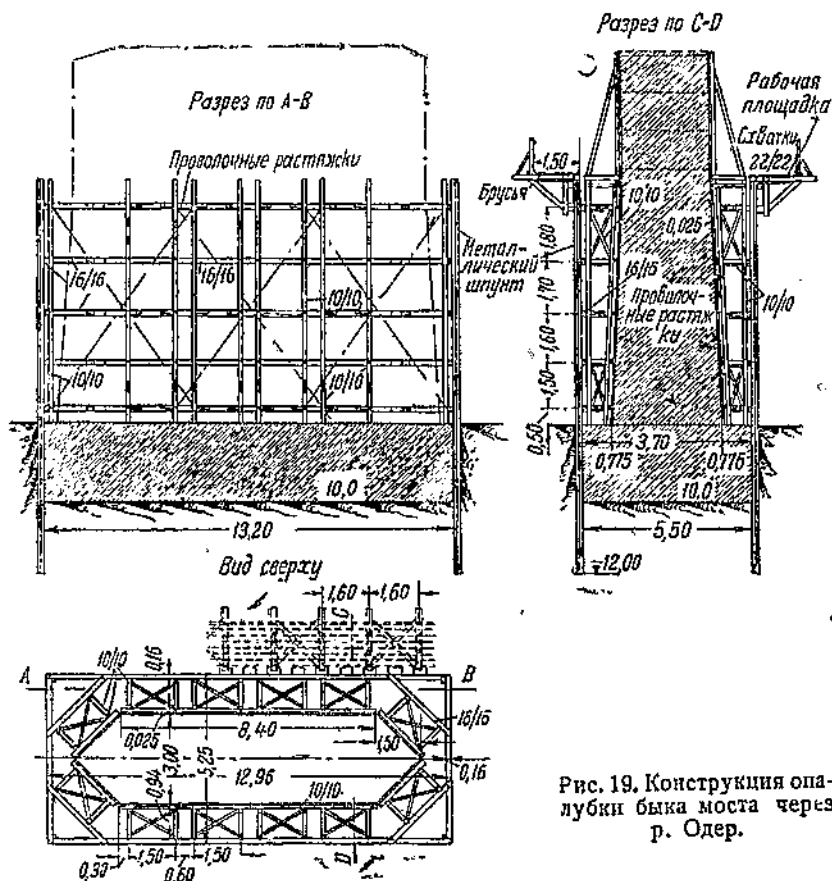


Рис. 19. Конструкция опалубки быка моста через р. Одер.

ными путями на перемещающейся раме позволило осуществить передвижение тележки с укрепленной на ней трубой в двух взаимно-перпендикулярных направлениях (рис. 10).

В середине тележки была подвешена труба, имевшая в свету 320 мм, раскрепленная как показано на рисунке. Трубу можно было с помощью оттяжек перемещать и в вертикальном направлении. На верхнем конце трубы была укреплена воронка высотой 50 см. Диаметр верхнего отверстия воронки составлял 80 см (рис. 20).

Работы по подводному бетонированию велись непрерывно в 3 смены. Последовательность рабочего процесса состояла в сле-

дующем. Бетонная смесь подавалась из бетономешалки в подъемный ковш. Ковш поднимался вверх и опорожнялся в бункер. Из бункера бетонная смесь по трубам поступала в воронку трубы, при помощи которой производилось бетонирование. Бункер не имел задвижек, поэтому порция в 300 л бетона выливалась из него довольно быстро. При протекании бетона по трубам (от бункера до воронки) часто происходили засорения последних вследствие неравномерности качества приготовленного бетона. Эти закупорки ликвидировались путем простукивания по трубам и шуровки длинными штангами. В тех случаях, когда это не помогало, в бункер давали порцию воды.

Обычно вес трубы, заполненной бетоном, при длине 14 м, за вычетом потери веса в воде, составлял около 1550 кг. Это представляло значительные затруднения для работающих на лебедке, приподнимающей трубу.

(Количество вытекающего из трубы бетона не измерялось, полагались на ощущение работающих на лебедке. Как только труба «становилась легче» и слышалось шуршание бетона по ее стенкам, трубу быстро опускали. Опускание имело целью предотвратить вытекание из трубы всего содержимого. После того, как в данном месте выливалось некоторое число замесов, вообще говоря, от 6 до 8, а в углах опалубки от 20 до 25, тележка вместе с трубой перемещалась вдоль или поперек. При перемещении тележки труба иногда становилась косо вследствие того, что нижний конец ее увязал в бетоне. Трубу выравнивали, либо передвигая тележку назад, либо наполняя трубу бетоном, в результате чего труба, увеличиваясь в весе, снова принимала вертикальное положение.

Когда слой бетона, укладываемый таким способом, достигал толщины в 1,0 м, верхняя часть трубы укорачивалась.

Бетонирование левобережного быка было закончено от отметки — 10,0 до отметки — 2,0 в течение 5 дней. Фундаментная часть до отметки — 7,5 была закончена на 4-й день. При дальнейшем бетонировании было обнаружено повреждение опалубки и вытекание из нее бетона в пространство между опалубкой и шпунтом. Для исправления опалубки откачали из котлована воду.

При бетонировании правобережного быка, который впоследствии и разрушился, были внесены следующие изменения. Во избежание вытекания бетона из под опалубки, по мере поднятия в ней столба бетона, был насыпан слой песка между опалубкой и шпунтом. Песок насыпали тогда, когда фундаментная

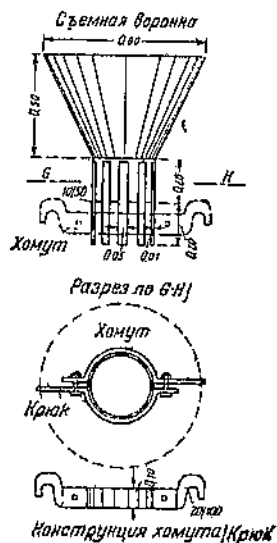


Рис. 20. Воронка для трубы.

часть была закончена на отметке — 6,6, т. е. на 60—80 см выше верха фундаментной цокольной части. Слой песка имел толщину 1,0—1,2 м. Всего было засыпано около 40 м³ песка. В остальном работа производилась, как описано выше.

Бетон, примененный для работы, имел состав 1 : 6. Временное сопротивление его на сжатие через 8 дней составляло 48,64 кг/см², а через 32 дня — от 125,35 до 165,48 кг/см². Гравий был применен двух сортов: мелкий гравий проходил сквозь сито с отверстием 7 мм в количестве 90%, крупный гравий имел 58% зерен мельче 7 мм.

С целью установления количества воды для затворения бетона строительной фирмой были произведены опыты подводного бетонирования через трубу. При этом выяснилось, что бетон легче выходит из трубы, расширяющейся книзу. Сужающаяся труба легко закупоривается. Далее было установлено, что вымывание цемента из бетонной смеси при землисто-влажном (трамбованном) бетоне более значительно, чем при пластичном. На основании этих опытов было решено применить для подводных работ пластичный бетон.

В результате изучения причин катастрофы комиссия из 18 экспертов вынесла свои заключения. Главнейшими причинами были отмечены следующие:

1. При производстве работ по подводному бетонированию были допущены значительные отступления от правил бетонирования с помощью перемещающейся трубы. В частности, подводное бетонирование не рекомендуется для отдельно стоящих сооружений, а может быть применено лишь в случаях заглубленных фундаментов. В данном случае бетонировали под водой тело быка.

Обращаясь к вопросу о необходимости применения в данном случае подводного бетонирования, следует отметить, что для возведения тела быка оно было безусловно излишним, так как ниже дна котлована левобережного быка шел слой водонепроницаемого грунта толщиной в несколько метров. Что касается правобережного быка, который и разрушился, то здесь ниже дна котлована шел слой крупного песка толщиной около 3 м. В последнем случае металлический шпунт должен был быть забит ниже этого слоя, до водонепроницаемого грунта.

Из этого следует, что имелась полная возможность ограничиться укладкой под водой заглубленной части фундамента толщиной в 2,5 м и затем, откачав котлован, произвести всю работу насухо.

2. Другие отступления заключались в самом методе производства работы.

При обычном процессе укладки четырехугольная труба (рис. 21) медленно передвигается вдоль уложенного слоя бетона, не приподнимаясь над ним.¹ В результате медленного перемещения трубы впереди ее образуется узкая щель. Таким

¹ Die Bautechnik № 27, 1932.

часть была закончена на отметке — 6,6, т. е. на 60—80 см выше верха фундаментной покольной части. Слой песка имел толщину 1,0—1,2 м. Всего было засыпано около 40 м³ песка. В остальном работа производилась, как описано выше.

Бетон, примененный для работы, имел состав 1 : 6. Временное сопротивление его на сжатие через 8 дней составляло 48,64 кг/см², а через 32 дня — от 125,35 до 165,48 кг/см². Гравий был применен двух сортов: мелкий гравий проходил сквозь сито с отверстием 7 мм в количестве 90%, крупный гравий имел 58% зерен мельче 7 мм.

С целью установления количества воды для затворения бетона строительной фирмой были произведены опыты подводного бетонирования через трубу. При этом выяснилось, что бетон легче выходит из трубы, расширяющейся книзу. Сужающаяся труба легко закупоривается. Далее было установлено, что вымывание цемента из бетонной смеси при землисто-влажном (трамбованном) бетоне более значительно, чем при эластичном. На основании этих опытов было решено применить для подводных работ пластичный бетон.

В результате изучения причин катастрофы комиссия из 18 экспертов вынесла свои заключения. Главнейшими причинами были отмечены следующие:

1. При производстве работ по подводному бетонированию были допущены значительные отступления от правил бетонирования с помощью перемещающейся трубы. В частности, подводное бетонирование не рекомендуется для отдельно стоящих сооружений, а может быть применено лишь в случаях заглубленных фундаментов. В данном случае бетонировали под водой тело быка.

Обращаясь к вопросу о необходимости применения в данном случае подводного бетонирования, следует отметить, что для возведения тела быка оно было безусловно излишним, так как ниже дна котлована левобережного быка шел слой водонепроницаемого грунта толщиной в несколько метров. Что касается правобережного быка, который и разрушился, то здесь ниже дна котлована шел слой крупного песка толщиной около 3 м. В последнем случае металлический шпунт должен был быть забит ниже этого слоя, до водонепроницаемого грунта.

Из этого следует, что имелась полная возможность ограничиться укладкой под водой заглубленной части фундамента толщиной в 2,5 м и затем, откачав котлован, произвести всю работу насухо.

2. Другие отступления заключались в самом методе производства работы.

При обычном процессе укладки четырехугольная труба (рис. 21) медленно передвигается вдоль уложенного слоя бетона, не приподнимаясь над ним.¹ В результате медленного перемещения трубы впереди ее образуется узкая щель. Таким

¹ Die Bautechnik № 27, 1932.

образом бетонная смесь может медленно вытекать из трубы лишь в две стороны — в бок и вперед. Следовательно бетон вступает в соприкосновение с водой, медленно перемещаясь. При этом содержимое трубы постоянно находится в механиче-

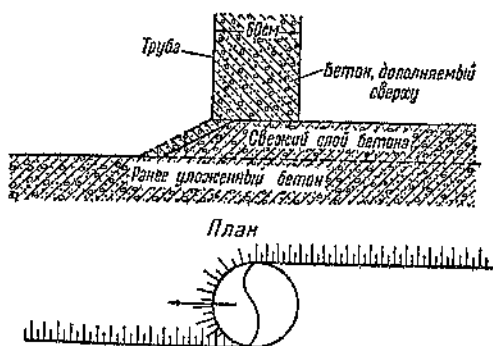


Рис. 21. Схема выхода бетона при укладке под водой с помощью трубы, перемещающейся в двух направлениях.

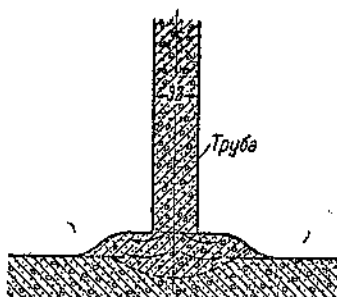


Рис. 22. Схема выхода бетона из трубы (мост через р. Одер).

ском соприкосновении с уложенным слоем бетона. Однако даже при таком способе производства работы отмечаются, как указывалось выше, случаи расслоения бетона.

При способе укладки бетона, принятом в Гартце, труба сначала опускалась на уложенный бетон, причем она несколько вдавливалась в него. Затем труба наполнялась бетоном и лишь после заполнения слегка приподнималась настолько, чтобы бетон мог из нее вытекать (рис. 22). Этот процесс повторялся на одном месте несколько раз, так что образовывались холмики из бетона.



Рис. 23. Бетон из левобережного быка моста через р. Одер.

Подъем труб производился на глаз, наблюдать же за понижением уровня бетона в трубе было невозможно. Если трубу при подъеме вытаскивали из бетона, то открывалась не узкая щель, как в обычном приеме, а все сечение трубы. Бетон в трубе приходил в движение и вытекал из нее целиком или частично. В результате в трубу проникала извне вода. Следующие порции бетона, попадая в наполненную водой трубу, перемешивались с ней; это приводило к отделению цемента и к выпадению заполнителей, не связанных между собой. Получался материал, не имеющий ничего общего с бетоном (рис. 23). В луч-

шем случае образовывался крайне слоистый и неоднородный материал, подобно изображенному на рис. 24.

Введение нескольких замесов в одно место также приводило к ухудшению качества бетона. В то время, как при обычном методе бетонирования равномерное и непрерывное вытекание бетона из трубы сопровождается перемещением тележки, в рассматриваемом случае дело обстоит иначе. Для перемещения трубы нужно было либо приподнять ее, и тогда вода проникала внутрь трубы, либо оставить конец трубы в бетоне и перемещать ее, но в этом случае происходило разрыхление массы бетона и в результате значительное размывание его.

Далее экспертами было отмечено, что более рациональной с точки зрения устранения опасности перерывов в подаче бетона, связанных с отмеченным выше закупориванием труб, была бы подача бетона по лоткам.

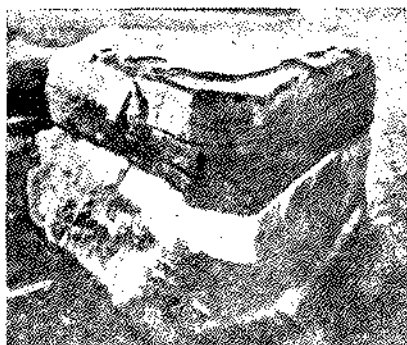


Рис. 24. Образец бетона из левобережного быка моста через р. Одер.

Это замечание, однако, нельзя признать правильным, так как установлено, что при подаче по лоткам распадение бетона бывает больше, чем при подаче полным сечением по трубам.

Другое, более существенное обстоятельство состояло в том, что трубы, по которым бетон подавался от бункера к воронке, не имели достаточной длины. Таким образом воронку приходилось ставить в том месте, которого могла достигнуть труба. Это обуславливало бессистемность в укладке бетона и из-

лишние длинный путь его растекания при выходе из нижнего конца трубы под водой.

Безусловным дефектом явилось и то обстоятельство, что бункер, куда подавались замесы из бетономешалки, не имел затвора. Благодаря этому порция бетона (около 300 л), поднятая ковшом и принятая бункером, сразу вытекала из него с большой скоростью, так как уклон подводящих труб составлял от 30 до 40°.

Каждый замес с ударом входил в трубу. О равномерной подаче бетона при таком оборудовании не могло быть и речи.

После выпуска каждого замеса наступал перерыв в 1—2 мин. Часто замес подавался в воронку трубы, находившейся в приподнятом положении. Значительный вес трубы с содержимым, доходивший до 2,3 т¹ (при глубине бетонирования в 12 м) не позволял опустить ее быстро с помощью маломощной лебедки. Высота подъема трубы колебалась от 10 до 40 см.

Из этого описания становится ясным, что нельзя было рассчитывать на получение пригодного бетона,

¹ Die Bautechnik № 27, 1932,

Интересно остановиться на разъяснении других обстоятельств, которые, по мнению некоторых экспертов, могли ухудшить качество бетона.¹ Речь идет о возможности химического разрушения бетона и расслоения бетонной массы в результате размыва ее волной проходящих пароходов (подсасывание). По этому поводу, повидимому, наиболее верные соображения высказаны экспертом Гайе (Gaue). По его мнению, против воздействия речной воды р. Одер на схватившийся бетон говорит следующее обстоятельство:

1. Сама по себе р. Одер не несет вредных для бетона вод, даже во время паводков.

2. Бетон речных быков, по единодушному мнению специалистов-химиков, не имел никаких признаков химического воздействия.

3. Период времени в 4,5 месяца слишком короток, чтобы вредодействующая вода могла разрушить бык толщиной в 3 м.

4. В течение этого срока (4,5 месяца) быки были в опалубке, которая защищала от проникновения воды.

5. Береговые быки, находившиеся в тех же условиях, что и речные, не показали признаков разрушения.

В отношении воздействия грунтовых вод Гайе приводит ряд убедительных доказательств в пользу того, что они не могли повлиять на разрушение бетона.

Что касается воздействия воды на бетон в период схватывания, то против этого говорят многочисленные опыты, поставленные на постройке. Изучению подвергались образцы бетона, изготовленного с водой из р. Одер.

Гайе также отрицательно высказывается по поводу предположения, что суда, проходившие мимо места постройки, создавали такое волнение, при котором металлические шпунты раскачивались, вследствие чего внутри котлована, огражденного шпунтом, возникала волна, вызывавшая явление высасывания цемента из уложенного бетона сквозь швы опалубки.

Против этой гипотезы приводятся следующие возражения:

1. Шпунты, сами по себе достаточно жесткие, поверху были скреплены брусками, на них уложены рельсы и подмости шириной около 1,5 м.

2. Опалубка была туго расклинена со шпунтом (рис. 19).

3. Невозможных при раскачивании шпунтов случаев схода с рельс рамы, перемещавшейся по рельсам, укрепленным на шпунте, не наблюдалось.

На основании этих и ряда других соображений возможность высасывания цемента из бетона исключается. Кроме того, при ширине реки в 130 м и глубине около 7,8 м нельзя, конечно, ожидать предполагаемого явления.

Заканчивая описание и разбор обстоятельств, вызвавших катастрофу, следует еще раз подчеркнуть, что она произошла исключительно вследствие неправильного и небрежного способа

¹ Die Bautechnik № 27, 1932.

производства работ. Подводное бетонирование тела быков не вызывалось необходимостью, а метод, примененный при укладке бетона, был ниже всякой критики, являясь по существу пренебрежением самыми элементарными правилами подводного бетонирования.

ГЛАВА II

МЕТОДЫ ПОДВОДНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ С ПОЛНЫМ ИЗОЛИРОВАНИЕМ БЕТОНА ПРИ ЕГО УКЛАДКЕ ПОД ВОДОЙ

7. Подводное бетонирование с помощью трубы, перемещающейся только в вертикальном направлении

Переходим к описанию наиболее совершенного способа подводного бетонирования, получившего преимущественное распространение в практике строительства.

Способ этот сочетает в себе преимущества изолированной подачи бетона сквозь толщу воды с преимуществами введения свежих порций бетона внутрь уже уложенной массы. Таким образом, бетон, будучи изолирован на своем пути сквозь толщу воды, остается изолированным от соприкосновения с водой и при укладке его на место. В отличие от других способов, бетон применяется исключительно пластичный, вязкой консистенции, не склонный к распаденю на составные части. В результате такой защищенности от соприкосновения с водой сохраняются все свойства бетона, уложенного на воздухе. Метод этот с успехом применяется как для возведения заглубленных подводных фундаментов, так и для возведения свободностоящих стенок и устоев.

Имеется ряд примеров применения этого метода при возведении ответственных частей сооружений.

Метод этот получил широкое распространение в Швеции, куда он был привезен норвежским инженером Гундерсеном из Америки.¹ Там он познакомился с данным методом при сооружении туннеля, под р. Детройт² (1905—1908 г.).

Обратимся к более подробному описанию производства работ по этому методу.

Опалубка обычно в виде бездонного ящика изготавливается над водой из остроганных шпунтовых брусев. Она должна быть плотной и достаточно прочной, чтобы была исключена всякая возможность вымывания цемента из уложенного в нее бетона.

Забалластированная надлежащим образом опалубка, погружается на заранее подготовленное основание. Зазоры между опалубкой и основанием уплотняются с помощью мешков с песком и проч. (рис. 25). В центре предположенного к заливке блока устанавливается труба диаметром около 30 см в свету. Труба, подвешенная к несложным лесам, может подниматься и

¹ F. Trier, Die Verwendung von Unterwassergußbeton in Sweden, die Bautechnik № 8 и 10, 1930.

² Этот метод в Америке носит название „tremie method“.

опускаться с помощью обыкновенной лебедки, обслуживаемой одним человеком.¹

Труба состоит из нескольких звеньев: нижнего, верхнего и промежуточных. Нижнее звено, длиной в несколько метров (3—5 м), имеет на одном конце утолщение для увеличения его жесткости, а на другом конце фланец для соединения со следующим звеном. Промежуточные звенья, длиной от 1 до 2 м, имеют фланцы на обоих концах. По мере поднимания трубы в процессе бетонирования они постепенно отнимаются одно за другим. Фланцевые соединения уплотняются кожаными или резиновыми прокладками.

На верхнем звене трубы укрепляется воронка достаточно больших размеров. Емкость воронки должна быть не менее вместимости всей трубы от низа до горловины воронки. Труба в процессе бетонирования имеет только вертикальные перемещения, что обеспечивается направляющими.

Над воронкой находится конец трубы или лотка, по которым происходит подача бетона. Прежде чем приступить к бетонированию, в опалубке, на высоте около 10 см над уровнем воды, делается отверстие для стока воды, вытесняемой поднимающимся бетоном. Этим устраняется избыточное давление воды внутри опалубки.

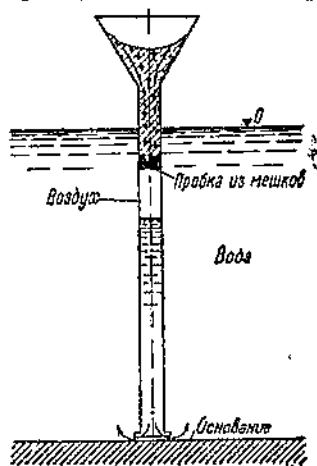


Рис. 26. Схема первоначального заполнения трубы (клапан снят).

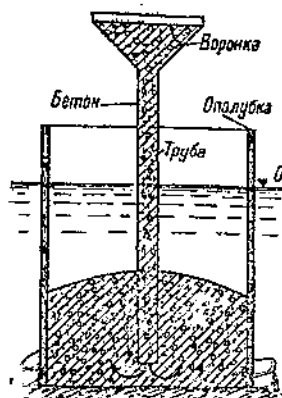


Рис. 25. Схема укладки бетона по методу вертикально перемещающейся трубы.

В горловине воронки устанавливается особая шарнирная заслонка. При поднимании заслонки за ось открывается отверстие трубы. Под заслонку укладывается пробка из мешочной ткани.

Труба опускается вниз настолько, чтобы ее нижний конец уперся в основание сооружения. Затем при закрытой горловине воронки производится загрузка воронки бетоном. После того, как воронка окажется совершенно заполненной, заслонку быстро вытаскивают вверх через бетон, находящийся в воронке. При этом створки заслонки складываются и отверстие трубы открывается. Бетон устремляется в трубу полным сечением и, имея перед собой пробку из мешков, вытесняет из трубы воду и воздух, которые выходят через нижнее отверстие трубы (рис. 26).

¹ Возможно применение фрикционных лебедок с электроприводом.

Рекомендуется при первой загрузке устанавливать воронку возможно ниже над горизонтом воды. Этим будет уменьшен объем воздуха между бетоном в воронке и водой и избегнута опасность прорыва воздуха наверх при открывании заслонки.

Целесообразно снабдить верхнее звено трубы отверстием для выпуска вытесняемого воздуха.

В тот момент, когда вся вода и воздух будут вытеснены из трубы, бетон начнет вытекать из нижнего отверстия трубы. К этому времени в воронку должна быть загружена новая порция бетона. Во время бетонирования следует обращать внимание на то, чтобы уровень бетона в трубе не опускался ниже уровня окружающей воды. После того, как воронка опять будет доверху заполнена бетоном, трубу осторожно приподнимают немного вверх. Как только уровень бетона в воронке начнет понижаться, трубу быстро опускают вниз. Вокруг трубы образуется, таким образом, куча бетона, в которую воткнута труба. Бетон снова добавляется в воронку и процесс повторяется. Когда уровень бетона в опалубке поднимается на высоту около 1 м,¹ бетон из трубы, по мере добавления его в воронку, будет медленно поступать внутрь бетонной массы. Уровень бетона в опалубке будет постепенно повышаться. В соответствии с этим трубу следует постепенно вытаскивать вверх и укорачивать путем отделения верхних звеньев. В том случае, если уровень бетона в трубе начнет понижаться очень быстро, трубу необходимо тотчас опустить вниз. При этом вытекание бетона прекратится.

Когда опалубка окажется заполненной выше горизонта воды, трубу нужно вынуть из бетона. При бетонировании следует учесть давление бетона на опалубку и проектировать последнюю так, чтобы она не была деформирована. Поверхность бетона в опалубке имеет уклон от трубы к стенкам опалубки.

Верхний слой бетона, который в процессе бетонирования находился в соприкосновении с водой и мог быть размыв последней, обычно удаляется. Размеры бетонного массива, изготовляемого по такому методу при помощи одной трубы, определяются допустимым радиусом растекания бетона. Если радиус этот слишком велик, то возникает опасность, что более крупные заполнители будут отлагаться вблизи трубы и бетон будет неоднородным. Радиус, как показывает опыт, может быть принят равным 3—3,5 м от центра трубы. Таким образом, с помощью одной трубы можно бетонировать площадь размером около 6 × 6 м. Если требуется изготовить бетонный массив больших размеров, он должен быть разбит на участки размером 6 × 6 м. При установке промежуточной опалубки все зазоры должны быть тщательно уплотнены.

Если необходимо избежать подразделения сооружения на отдельные блоки, то бетонирование можно осуществить с помощью одновременного литья бетона через две и более трубы

¹ Уровень бетона в опалубке может определяться с помощью футштока,

(рис. 27). Расстояние между трубами не должно превышать допустимого радиуса растекания. При бетонировании одновременно двумя трубами необходимо тщательно следить за тем, чтобы бетон поднимался равномерно по всей площади. В том случае, если по одной трубе подается больше бетона, чем по другой, может произойти смещение соседней трубы, что недопустимо.

Вся укладка бетона должна быть осуществлена в одну операцию. Более или менее длинные перерывы в работе совершенно недопустимы.

Бетон, применяемый для укладки по методу вертикально перемещающейся трубы, должен быть особенно тщательно составлен и перемешан. От качества бетона во многом зависит успех укладки.

Применяемые в Швеции смеси содержат не менее 300 кг цемента на 1 м³ бетона. В качестве заполнителей следует, по возможности, брать естественный гравий. Щебня следует избегать, так как он понижает текучесть бетонной смеси.

Суждение о пригодности бетонной смеси для подводного бетонирования, как указывается в шведских источниках, можно произвести на основании следующих признаков: 1) транспортируемый на расстояние в 100 м бетон не должен давать отделе-

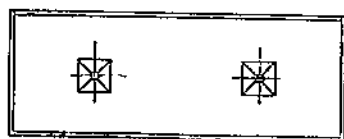
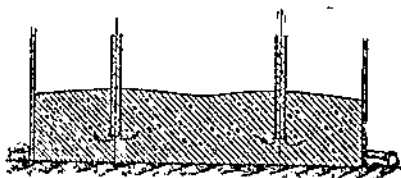


Рис. 27. Схема бетонирования двумя трубами одновременно.

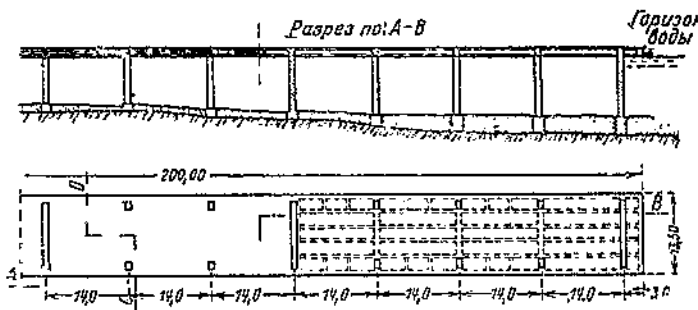


Рис. 28. Схема пристани в Вальвике.

ния воды и 2) положенный на свежий бетон камень не должен погружаться в него. В отдельных случаях можно добавлять трасс. Подводное бетонирование по описанному выше методу впервые произведено в Швеции в 1911 г. при сооружении основания под здание банка в Стокгольме в особо тяжелых условиях в смысле грунта и наличия воды. Глубина оснований со-

ставляла 13 м. С тех пор этот метод применялся в целом ряде сооружений и неизменно давал хорошие результаты.

В течение 1913—1918 гг. описываемый метод применялся при сооружении набережных в Оскаргамне, Окселезунде и Гетеборге.

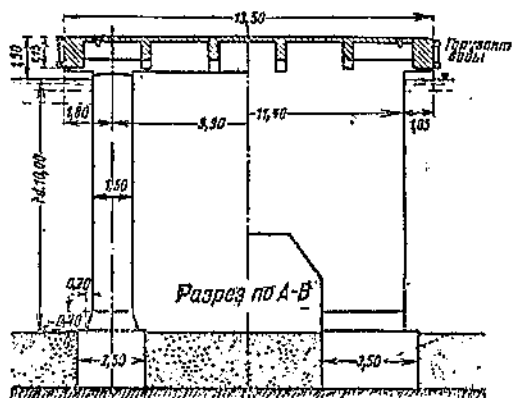


Рис. 29. Опора пристани в Вальвике.

(рис. 28 и 29). Расстояние между опорами — 14 м. На протяжении 42 м опоры заменены сплошными железобетонными рамами. Толщина рам — 1,1 м. Опоры и рамы были возведены под водой методом вертикально перемещающейся трубы. После подготовки и выравнивания основания под воду была опущена опалубка. Места прилегания опалубки к основанию были уплотнены водолазами мешками с песком. Опалубка состояла из $1\frac{1}{2}$ " шпунтованных и строганных досок.

Опоры имели железную арматуру с узкой стороны из 8 вертикальных стержней диаметром 32 мм, а с широкой стороны — из 2 стержней того же диаметра. Для удержания арматуры в должном положении была сделана обвязка из шинного железа.

Арматура выходила из воды для того, чтобы можно было осуществить сопряжение с бетоном, закладываемым над водой.

Производительность бетономешалки составляла 4 м³/час. Бетон подавался из бетономешалки в бункер и затем по лоткам в воронку трубы. На рис. 30 изображена опалубка для одной из рам, подготовленная к погружению под воду. Размеры опалубки: ширина 11,4 м и толщина 1,1 м; высота опалубки в зависимости от рельефа дна составляла от 7 до 10 м,

8. Примеры применения

Постройка пристани в Вальвике. При постройке пристани в Вальвике (Швеция) также было применено подводное бетонирование по методу вертикально перемещающейся трубы.

Пристань состоит из железобетонной плиты, опирающейся на железобетонные опоры. Ширина плиты — 13,5 м, размеры опор, $1,10 \times 1,50$ м

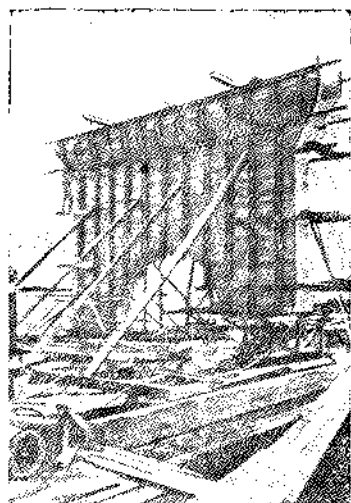


Рис. 30. Опалубка опоры пристани в Вальвике.

Укладка бетона под водой произведена с помощью двух труб, работавших одновременно. Состав бетона — 1 часть цемента на 3 части песка и на 3 части высевок (состав указан по объему).

Как указывалось выше, щебень вообще мало желателен для подводного бетонирования. В данном случае он был применен ввиду отсутствия гравия. Укладка бетона для одной из опор длилась около $3\frac{1}{2}$ час. Бетон был уложен на высоту около 30 см над горизонтом воды. По окончании укладки, когда вытащили трубу, было установлено, что ее нижний конец погружался в бетон на 3,3 м. Поверхность бетона имела небольшой уклон и не обнаруживала отложений шлама.¹

При сооружении Лильегольмского моста близ Стокгольма прочная скала находилась на глубине 30 м под водой. Это потребовало устройства свайного основания. В огражденном шпунтом котловане были забиты сваи, головы свай выступали под водой над дном котлована на 4 м. На дно котлована был уложен слой бетона толщиной 2,5 м. Укладка бетона произведена под водой. После укладки бетона

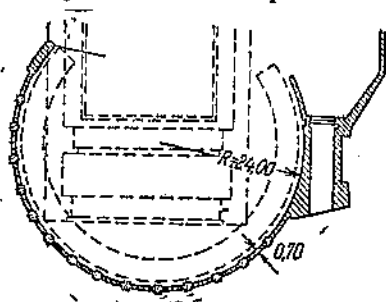


Рис. 31. Очертание в плане пере-
мычки в Бекхольмен.

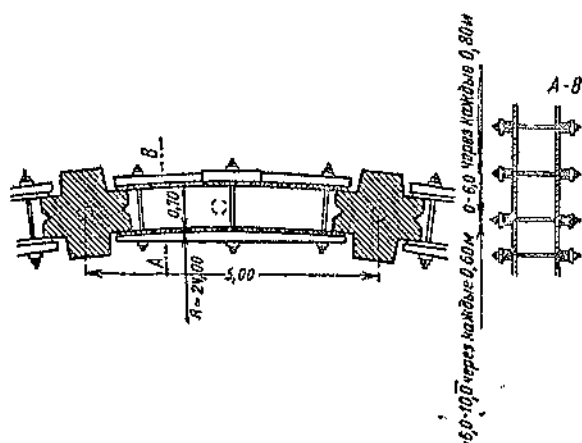


Рис. 32. Конструкция опалубки пере-
мычки в Бекхольмен.

максимальная высота перемычки — 9,5 м, толщина — всего 0,70 м.

Арка опирается пятнами в углубления в скале.

Грунт на месте постройки — скала. Конструкция перемычки представлена на рис. 32. Перемычка состояла из колонн, пролеты

вода из котлована была выкачана. Бетон оказался весьма плотным.

Постройка пере-
мычки в Бекхоль-
мен.¹ С большим ус-
пехом был применен
метод вертикаль-
но перемещающейся
трубы при сооруже-
нии временной бе-
тонной перемычки
на постройке сухо-
го дока в Бекхоль-
мен (Швеция). Пе-
ремычка имела вид
арки радиусом 24 м
(рис. 31). Макси-

¹ Teknisk Tidskrift № 4, 1925, а также Die Bautechnik № 10, 1930.

между которыми, равные 5,0 м, перекрыты бетонными плитами толщиной, как указывалось выше, 0,70 м.

Работы по возведению перемычки производились без перерыва с августа 1923 г. по июнь 1924 г. Укладка бетона не прекращалась и в зимнее время, несмотря на морозы.

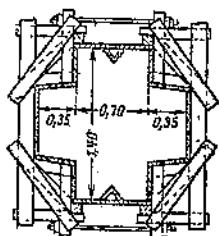


Рис. 33. Конструкция опалубки колонн перемычки в Бекхольмен.

Сначала забетонировали колонны (рис. 33) по всему периметру перемычки. После снятия опалубки между колоннами установили опалубку сводчатых плит. Укладка бетона в каждую плиту на полную высоту, т. е. на 9,5 м, была выполнена с помощью одной трубы. Места установки труб указаны на рис. 32 кружками. Состав бетона был применен следующий (по объему): 1 часть цемента на 2 части песка и на 2,5 части гравия.

При укладке бетона были произведены исследования в отношении определения давления бетона на опалубку.

Во многих местах по высоте в опалубке сделали отверстия и затянули их резиной. Давление бетона на резиновые мембраны передавалось по трубкам, заполненным водой, к выведенным на поверхность ртутным манометрам.

Установлено, что давление доходило до $0,35 \text{ кг/см}^2$. Одновременно с укладкой бетона в перемычку тем же приемом про-

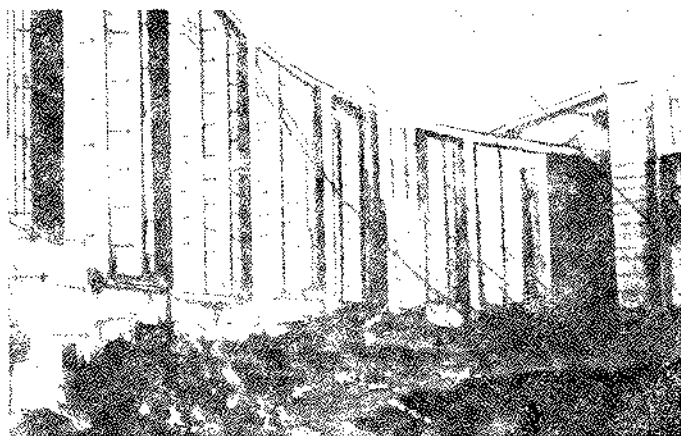


Рис. 34. Общий вид перемычки в Бекхольмен после откачки воды.

изводилась укладка бетона под водой в опытный блок больших размеров. Взятые из блока образцы для испытания на прочность показали, что бетон, взятый из середины блока, имел временное сопротивление на сжатие $251\text{--}276 \text{ кг/см}^2$. В верхних слоях, в которых бетон при укладке соприкасался с водой, сопротивление его на сжатие достигало лишь $184\text{--}188 \text{ кг/см}^2$.

На наружной поверхности блока временное сопротивление бетона на сжатие достигало 418—488 кг/см². В центре, где находилась труба, временное сопротивление на сжатие равнялось 255—266 кг/см². Таким образом оказывается, что прочность бетона в наружной части блока больше. Одной из причин такого положения, как указывается в шведских источниках, может служить наличие пузырьков воздуха, скопляющихся вокруг трубы. На рис. 34 представлена перемычка после откачки воды. Бетон получился хорошего качества. При откачке воды он оказался вполне водонепроницаемым, только у некоторых болтов, служивших для скрепления опалубки (болты видны на фотографии), наблюдалось незначительное просачивание воды.

Места сопряжения сводчатых плит с колоннами (рис. 32), а также перемычки со скалой основания оказались вполне водонепроницаемыми. После окончания постройки дока, продолжавшейся около 2,5 лет, перемычка была взорвана. Исследование обломков перемычки показало полную однородность бетона.

На рис. 35 изображен шлиф бетона из перемычки.

Широкое применение нашел метод вертикально перемещающейся трубы при возведении мостовых опор. Общий прием состоит в том, что после разработки котлована под опору, огражденного шпунтом на требуемую отметку, дно его покрывается под водой слоем бетона. Этим достигается водонепроницаемость дна котлована и он может быть осушен. В качестве примера применения этого приема может быть приведен ряд случаев.

Возведение опор городского моста через р. Томь (Сталинск). На строительстве городского моста через р. Томь в г. Сталинске¹ было применено подводное бетонирование котлована под опоры. Общая длина моста — 432 м. Опоры моста были возведены с помощью опускаемых колодцев, причем применялось подводное землечерпание.

Опускаемые колодцы имели в плане овальную форму при вертикальных стенках. Колодцы — железобетонные с металлическим ножом. Размеры колодцев — 13,29 × 3,2 м. Выемка грунта из колодцев производилась путем землечерпания под водой с помощью плавающего экскаватора «Марион». Когда колодец достиг

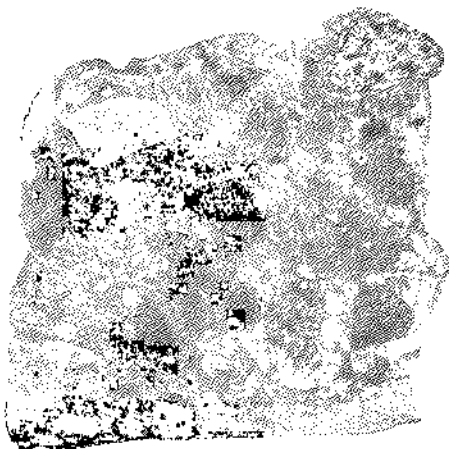


Рис. 35. Шлиф бетона из перемычки в Бекхоьмен.

¹ Инж. М. И. Бальнов, Строительство городского моста через р. Томь в г. Сталинске, Строительная промышленность № 3, 1938.

скального грунта и нож вошел в скаду на 50 см, прекратили дальнейшее опускание и произвели разработку скального грунта ниже ножей на глубину около 3 м.

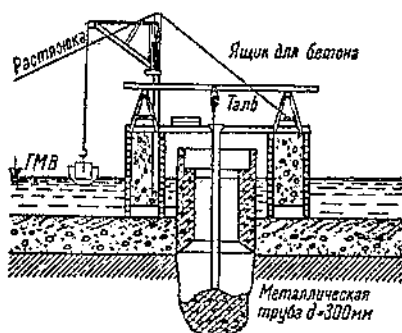


Рис. 36. Схема расположения оборудования для подводного бетонирования опор моста через р. Томь.

Бетонирование котлована производилось под водой с помощью металлической трубы диаметром 300 мм. Толщина стенок трубы составляла 2 мм. С целью увеличения жесткости труба была снабжена уголками. Котлован заполняется бетоном до верха ножей колодца (рис. 36). После отвердевания бетона в течение 5 дней вода выкачивалась из колодца. Бетонирование внутри колодца производилось затем обычным способом насухо.

Возведение береговых устоев жел.-дор. моста. Площадь устоев в плане составляла $17 \times 12,8$ м (рис. 37).¹ Вследствие этого кот-

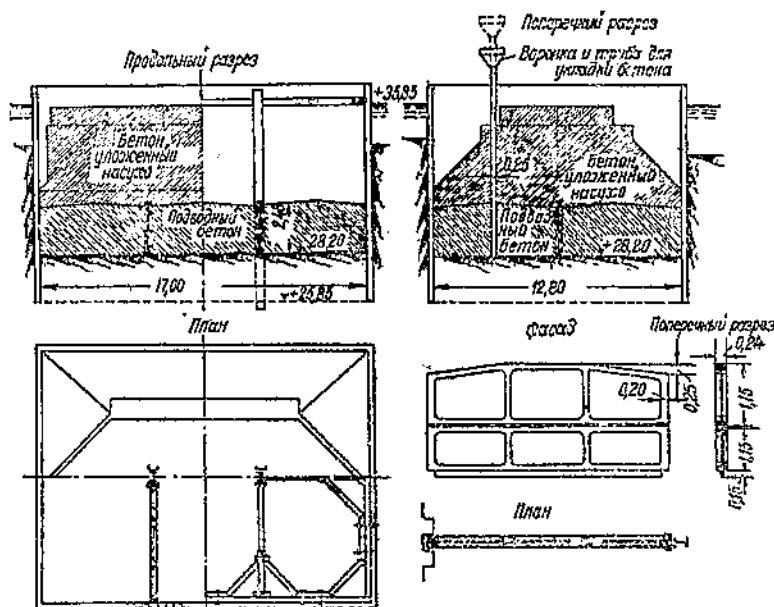


Рис. 37. Бетонирование опор жел.-дор. моста с помощью вертикально перемещающейся трубы.

лованы, огражденные металлическим шпунтом, были подразделены на 6 секций. Для секционирования применялись железобе-

¹ Die Bautechnik № 29, 1933.

тонные плиты, вставлявшиеся в пазы металлического шпунта. Подводное бетонирование было произведено по методу вертикально перемещающейся трубы. Диаметр последней — 25 см. Толщина слоя подводного бетона 1,8—2,5 м. Поверхность бетона имела уклон от 1:5 до 1:10. Подбору гранулометрического состава заполнителей было уделено большое внимание. Установлено, что добавка крупных заполнителей увеличивает опасность закупорки трубы. В том случае, когда бетон содержал повышенное количество песка, качество его, в отношении пригодности для подводного бетонирования, повышалось. Закупорка трубы при употреблении такого бетона не наблюдалась, и бетон растекался с очень малым уклоном поверхности. В качестве вяжущего применялся исключительно трассовый портланд-цемент актив-

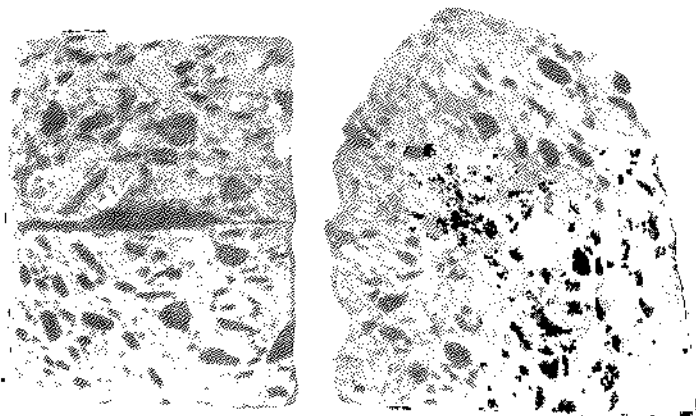


Рис. 38. Образцы подводного бетона из опоры жел.-дор. моста.

ностью от 450 до 590 кг/см². Пропорция смеси 1:5 требовала добавки 209 л трассового портланд-цемента на 1 м³ сухой смеси.

При приготовлении бетона добавляли 10—14% воды, так как опытами были установлены случаи закупорки труб при употреблении более сухих смесей.

Откачивание воды из котлованов производилось через 5 дней после укладки бетона. Для испытания качества уложенного под водой бетона была вырезана плита размером 80 × 60 × 30 см. Кубики размером 20 × 20 × 20 см, изготовленные из этой плиты, дали временное сопротивление на сжатие через 50 дней равное 234 кг/см². Изготовленные во время бетонирования пробные кубики показали через 28 дней сопротивление на сжатие в 259, 242 и 198 кг/см². Бетон получился вполне однородный и плотный. На рис. 38 представлены образцы бетона из устоев моста.

Для испытания водонепроницаемости бетона из плиты были выпилены цилиндрические образцы высотой 14 см и диаметром 20 см. Один из этих образцов подвергался давлению в 1,2 ат в течение 5 суток. Образец оказался водонепроницаемым. После того как образец был расколот, установили, что вода проникла

лишь до половины толщины его. Второй образец был испытан с целью определения давления, при котором вода начинает проникать через бетон. Образец подвергался давлению в 1 ат в течение 24 час. Каждые следующие 24 часа давление повышалось на 1 ат. При 16 ат давления поверхность образца была вполне сухой. При 17 ат давления образец лопнул. И здесь, как и в первом образце, вода проникла лишь до половины толщины.

Результаты испытания, учитывая незначительный расход цемента, следует считать вполне удовлетворительными.

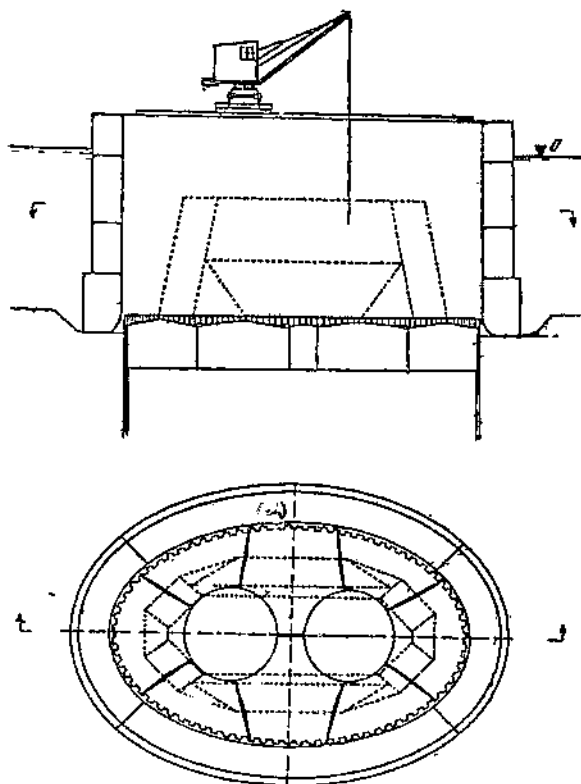


Рис. 39. Схема установки колодца для подводного бетонирования опор моста Storstrom.

Возведение опор моста Сан-Франциско—Окленд. Как указывалось выше, при возведении опор этого моста были применены два метода подводного бетонирования — метод раскрывающихся ящиков и метод вертикально перемещающейся трубы.¹ Бетон укладывался под водой на глубину от 7,5 до 75 м. На меньших глубинах применялся метод вертикально перемещающейся трубы. При укладке бетона в данном случае отмечались случаи слишком резкого подъема трубы, в результате чего бетон, приходя в быстрое движение, вы-

скальзывал целиком из трубы. Это потребовало введения специального контроля за работой по подниманию и опусканию трубы. На укладке бетона за шпунтовыми стенками (из металлического шпунта) одновременно работали 3 трубы. Они укреплялись в нужном положении на специальной раме. Поднимание и опускание труб производилось с помощью трех независимо действующих моторных лебедок. Над воронками труб перемещался бункер, из которого бетон по мере надобности подавался в ту или иную воронку.

Возведение опор моста Storstrom (Дания). При возведении

¹ Journal of the Amer. Concr. Inst. № 3, 1936, v. 7 и № 1, 1935, v. 7.

моста Storstrom для устройства фундаментных частей опор широко применялось подводное бетонирование.¹ Мост расположен на пути, соединяющем Данию со Скандинавским полуостровом, и открыт в 1937 г. Длина моста—3,211 м. Мост состоит из 50 пролетов, причем 3 из них предназначены для судоходства. Быки моста в количестве 49 возведены на ледниковой глине. Глубина основания — от 10 до 18 м. Основание окружалось стенкой из металлического шпунта, забитого на глубину от 3 до 8 м ниже подошвы фундамента. Для возведения быков были применены плавучие металлические кессоны специальной конструкции. Кессоны имели в плане овальное очертание и были снабжены воздушными отсеками, обеспечивающими их плавучесть (рис. 39). На кессонах находилась электростанция и кран для экскавации грунта. С помощью кессонов были возведены 41 из 49 быков; 8 быков возведены за металлическим шпунтом. После возведения отдельного быка кессон всплывал и устанавливался на новом месте для возведения следующего быка. По условиям производства работы часть быков возводилась в таких кессонах насухо, часть же потребовала применения подводного бетонирования.

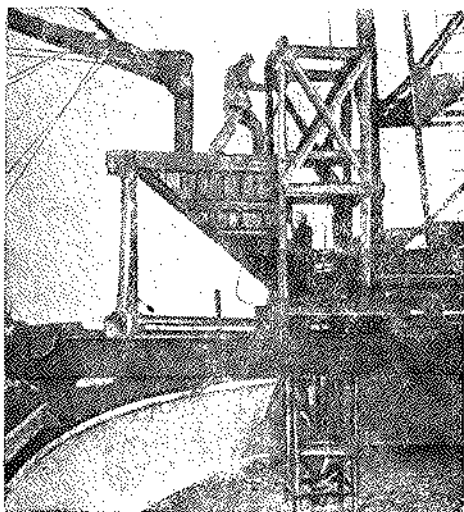


Рис. 40. Подводное бетонирование опор моста Storstrom.

Площадь, подлежащая бетонированию под водой, была разделена на секции водолазами путем установки двух металлических цилиндров и переборок из железобетонных плит. Размеры овала основания (размеры осей) составляли $25,0 \times 14,0$ м. Каждая секция могла быть заполнена бетоном в течение нескольких часов. Все швы переборок тщательно уплотнялись водолазами, что предохраняло бетон одной секции от попадания в соседнюю секцию. Когда была окончена установка переборок, в первый отсек была опущена металлическая труба диаметром 250 мм. Труба была укреплена на платформе и шла до дна отсека. На этой же платформе были установлены бункер для бетона и лебедка, с помощью которой труба могла быть поднята и опущена (рис. 40). Укладка бетона была произведена с помощью вертикально

¹ Concreting under water at the Storstrom Bridge, Concr. a. Constr. Engng. № 10, 1937, v. XXXII.

Concr. a. Constr. Engng., 1933, sept.

Christiani R. Le pont du Storström (Danemark), Travaux, architect., constr. etc. № 63, 1938.

перемещающейся трубы. По мере вытекания бетона труба поднималась из бункера. При быстром понижении уровня бетона в трубе ее немедленно опускали и этим прекращали вытекание бетона. Затем трубу снова наполняли бетоном, и бетонирование продолжалось. Когда все секции были заполнены и бетон достаточно отвердел, откачали воду. После откачки воды верхний слой бетона был удален, как дефектный. Прочая масса бетона оказалась исключительно высокого качества. По такому

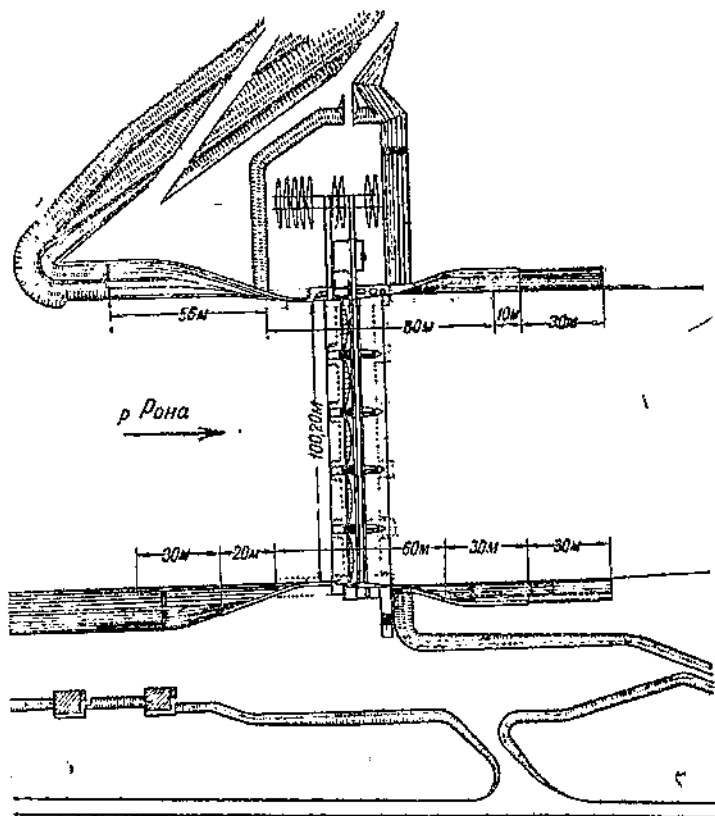


Рис. 41. План плотины Jons на р. Рона.

методу были забетонированы фундаменты 23 быков. Как показано выше (рис. 39), днище было разделено на блоки двумя металлическими цилиндрами и железобетонными плитами. При бетонировании в плите были оставлены шахты, которые позволяли произвести осмотр и изучение всей толщ плиты от верха до низа. За исключением верхнего слоя, толщиной от 5 до 10 см (этот слой затем был удален), прочая масса бетона была вполне однородной и по качеству не уступала бетону того же состава, уложенного на воздухе.

Возведение плотины Jons (Франция). Подводное бетонирова-

ние по методу вертикально перемещающейся трубы применялось и при возведении сооружений другого рода, в частности, при возведении сооружений, находящихся под напором.

Так, в 1935 г. по этому методу был сооружен флютбет плотины Жонс на р. Рона (Франция).¹

Плотина Жонс имеет 5 отверстий по 17 м в свету (рис. 41). Флютбет выровнен по среднему уровню естественного русла реки на глубине 6 м ниже нормального горизонта подпора.

С верховой и низовой сторон флютбет имеет зубья, заглубленные, как показано на чертеже (рис. 44). Зубья заложены с помощью кессонов размером 13,5 × 3,5 м. После опускания

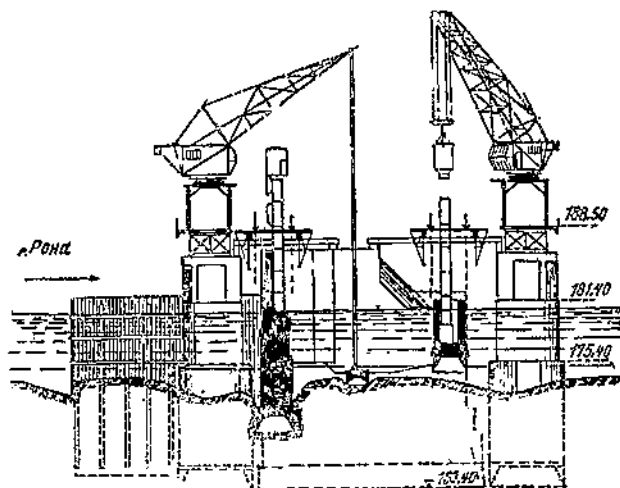


Рис 42. Закладка зубьев плотины Жонс.

кессонов и их бетонирования была произведена укладка под водой бетона в пространство между зубьями по методу вертикально перемещающейся трубы.

На рис. 42 показаны момент опускания кессонов для устройства зубьев и разработка котлована.

Толщина слоя бетона, уложенного под водой, составляла около 3,0 м.

Для производства подводного бетонирования отверстие между быками с верховой стороны закрывалось металлической шпунтовой перемычкой. Таким образом оказывалось возможным вести работу в стоячей воде. Длина шпунта составляла около 17 м; он был забит, примерно, на 3,0 м в естественное русло реки. Перемычка раскреплялась деревянной конструкцией, опиравшейся на быки, ограничивающие пролет.

На рис. 43 изображен план устройства ограждения для производства подводного бетонирования.

¹ Le barrage de Jons sur la Rhone, La Technique Moderne № 12, 1936.

Пространство, подлежащее бетонированию под водой, разбито на 3 блока с помощью двух шпунтовых рядов. Разбивка на блоки произведена с таким расчетом, чтобы на каждую трубу пришлось площадь размером около 6×6 м. Каждый блок бетонировался двумя одновременно работающими трубами (рис. 44 и 45).

Трубы, по которым подавался бетон, были подвешены к двум кранам.

На приготовление 1 м^3 бетона расходовалось 300 кг цемента. Верхний слой уложенного таким образом бетона счищался и

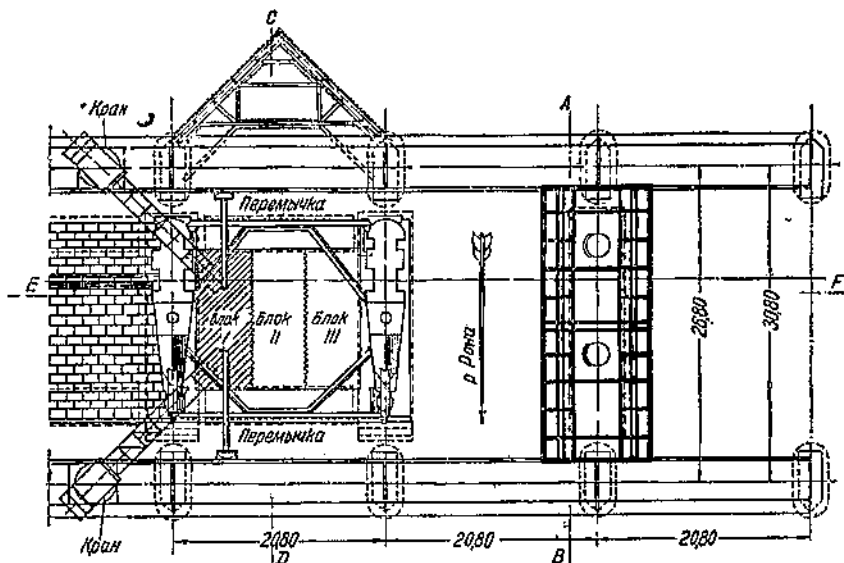


Рис. 43. План расположения оборудования для подводного бетонирования флютбета плотины Jons.

выравнивался. Затем флютбет покрывался гранитной облицовкой. Кроме того устраивался гребень флютбета с основанием, заглубленным в бетон.

Постройка дюкера.¹ Дюкер длиной около 61 м имеет 3 прямоугольных отверстия размером $3,8 \times 3,8$ м в свету (рис. 46). В продольном разрезе дюкер состоит из одного прямого участка и двух наклонных. Три отверстия объединены замкнутой железобетонной рамой шириной 15,4 м. Всего в сооружение было уложено 3900 м^3 бетона. Эта работа представляет особый интерес, так как здесь метод вертикально перемещающейся трубы был применен не по прямому своему назначению — подводного бетонирования, — а с несколько иной целью. Дело в том, что сооружение было основано на грунте, позволявшем работать в осушенном котловане. Поэтому, строго говоря, не было надобности

¹ Die Bautechnik № 31, 1933.

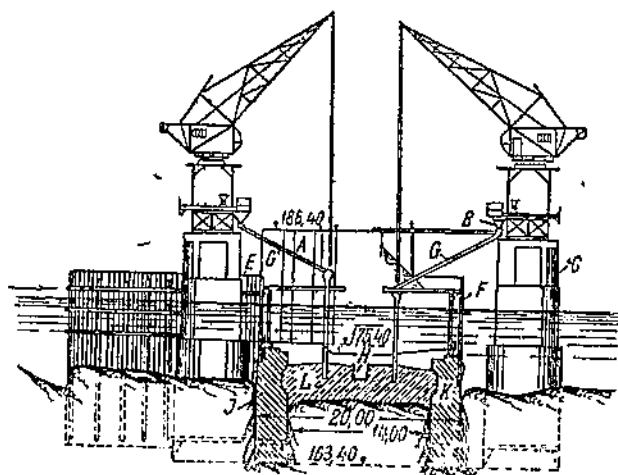


Рис. 44. Подводное бетонирование флютбета плотины Jons. Разрез по C—D.

A—бук; B—загрузочная воронка; C—временный бук; E—верховая перемычка; F—низовая перемычка; G—желоба; H—пиз; J—жерховой зуб; K—низовой зуб; L—подводный бетон.

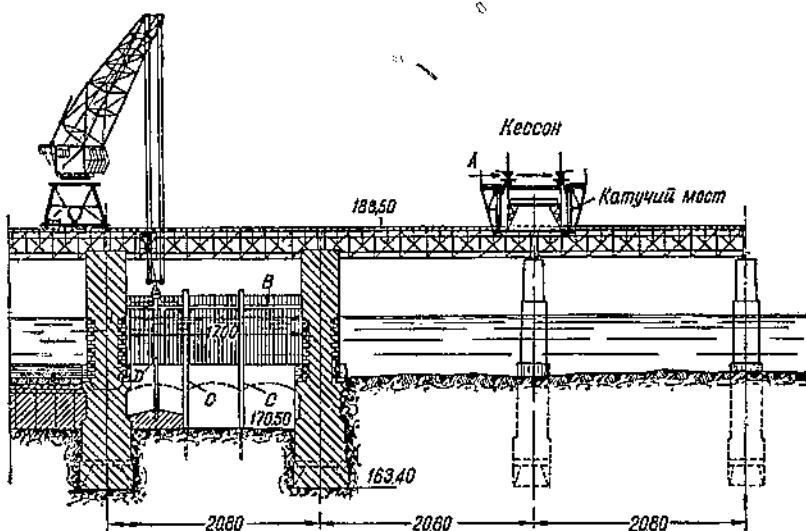


Рис. 45. Подводное бетонирование флютбета плотины Jons. Разрез по E—F.

A—винтовые домкраты для опускания кессона; B—часть верховой перемычки; C—перегородки из шпунта; D—труба для подводного бетонирования.

в применении метода вертикально перемещающейся трубы. Однако, ввиду большой глубины котлована и местных условий подачи бетона, высота падения бетона при бетонировании обычным приемом составила бы около 13 м. Связанная с этим опасность распада бетона при укладке заставила применить метод вертикально перемещающейся трубы, при котором бетон идет в закрытом со всех сторон пространстве внутри трубы и медленно вытекает из ее нижнего конца. Эта работа интересна и в другом отношении, а именно, здесь бетон должен был заполнить не пустое пространство внутри опалубки, но пространство с предварительно уложенной, довольно густой арматурой. Бетон пластичной консистенции, примененный для работы, состоял из

1 части цемента, 0,25 частей трасса, 2,4 частей песка и 2,4 частей гравия (по объему).

Песок и гравий доставлялись отдельно и смешивались на месте работ.

Приводим гранулометрический состав зерен песка крупностью от 0 до 7 мм:

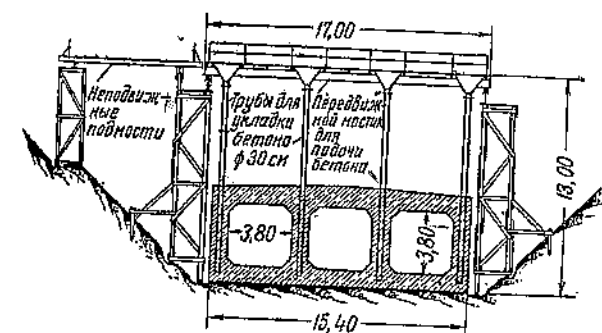


Рис. 46. Схематический поперечный разрез дюкера.

0—1 мм 47,5%	1—3 мм 23,7%	3—7 мм 24,3%	> 7 мм 4,5%
-----------------	-----------------	-----------------	----------------

Гранулометрический состав зерен гравия крупностью от 7 до 30 мм:

< 7 мм 10,2%	7—15 мм 41,9%	15—30 мм 42,4%	> 30 мм 5,5%
-----------------	------------------	-------------------	-----------------

Бетон заготавливался с помощью бетономешалки емкостью 750 л. В резерве имелась бетономешалка емкостью 500 л.

Для укладки бетона вдоль дюкера была устроена специальная эстакада, на которой уложен путь для вагонеток, а также укреплены 3 трубы диаметром 300 мм с воронками. Положение труб видно на рис. 46. Трубы состояли из отдельных звеньев длиной от 0,5 до 2,5 м. Это позволяло укорачивать трубы по мере надобности, что имело значение, учитывая довольно большую высоту дюкера. Сначала был уложен бетон в днище дюкера, затем установлены опалубка и арматура стен и произведено дальнейшее бетонирование. Длина отдельных участков по длине дюкера равнялась 10,3 м. Бетонирование каждого участка требовало одной перестановки трубы.

Укладка бетона в опалубку производилась следующим образом: трубы пропускались сквозь железную арматуру с таким расчетом, что нижний конец их приходился на высоте, примерно,

10 см над подошвой. Для того чтобы предотвратить расслоение и разбрызгивание первых порций бетона, при первой установке трубы конец ее был обернут мешковой тканью. Эта обертка удалялась, как только бетон у нижнего конца трубы поднимался на несколько сантиметров выше отверстия. После этого разбрызгивания бетона уже не наблюдалось. Когда нижний конец трубы оказывался ниже поверхности бетона на 0,75 м или на 1,0 м, трубу приподнимали, чтобы конец ее был погружен в бетон сантиметров на 20, и удаляли один из патрубков подходящей длины. Труба, таким образом, укорачивалась. Укладка бетона по этому методу представляет известные преимущества по сравне-

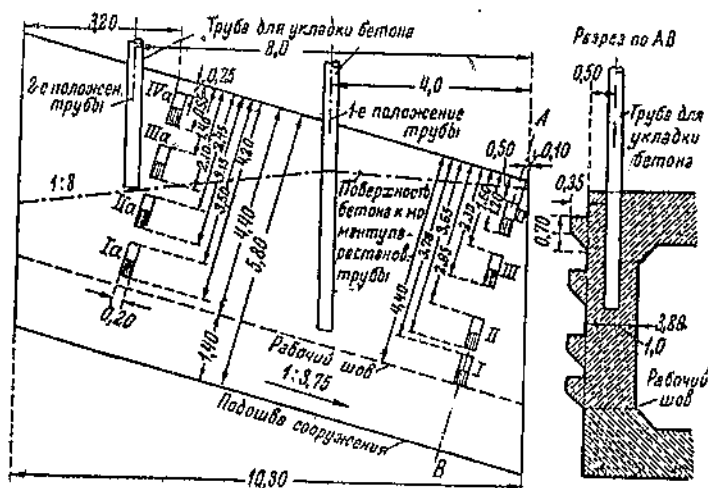


Рис. 47. Схема расположения труб для бетонирования дюкера с помощью вертикально-перемещающейся трубы.

нию с обычно применяемыми методами. Несмотря на то, что бетон опускался к месту укладки с большой высоты (около 13 м), распадаения его не наблюдалось. Бетон постепенно распространялся в стороны, поднимаясь одновременно вверх. Наклон поверхности бетона составлял 1:8.

Как было отмечено выше, бетонирование каждого участка дюкера в его горизонтальной части было произведено при двух положениях труб. При длине отдельных участков 10,3 м после каждой установки труб бетон должен был растекаться на расстояние 2—3 м. Когда убедились в легкой подвижности бетонной смеси и ее способности легко проникать сквозь арматуру, бетонирование участка длиной 10,3 м произвели с одной установки труб.

В наклонных частях дюкера укладка бетона производилась также при двух положениях труб (рис. 47). Для этого были следующие основания: чтобы производить бетонирование с одного положения труб, последние пришлось бы установить в самой верхней точке наклонного участка, иначе бетон не запол-

нил бы верхней части наклонного участка дюкера. Таким образом бетону было бы необходимо пройти путь около 10 м.

Пробные кубики, изготовленные обычным образом из бетона, шедшего для укладки, показали через 7 дней временное сопротивление сжатию около 140 кг/см^2 , а через 28 дней — около 240 кг/см^2 . Для того чтобы получить данные о качестве бетона в сооружении, при бетонировании стен и перекрытий на наружных сторонах были оставлены консоли. 8 консолей были расположены в два ряда, по 4 консоли в ряду. Один ряд находился в непосредственной близости к трубе, с помощью которой производилось бетонирование, а второй — на возможно большем расстоянии от нее. По истечении 14 дней с момента укладки бетона консоли срубили; они хранились на воздухе еще 14 дней. Из каждой консоли были выпилены кубик размером $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$ и плита размером $20 \times 20 \times 10 \text{ см}$ для испытания на водонепроницаемость. При испытании через 31 день кубиков на сжатие были получены следующие результаты (табл. 1).

Таблица 1

№ образцов	I	II	III	IV	I-a	II-a	III-a	IV-a	Примечание
Временное сопротивление сжатию кг/см^2	100	162	136	172	152	195	225	210	Места взятия образцов показаны на рис. 47

Исследование на водонепроницаемость было произведено следующим образом: давление в течение 4 суток повышалось от 0,5 до 5 ат. Затем в течение 6 суток давление держалось на этой высоте. Все восемь плит оказались вполне водонепроницаемыми. На рис. 48 показан разрез выпиленного из консоли пробного кубика, который дает возможность видеть однородный материал с равномерным распределением заполнителей. Испытания дюкера перед пуском его в эксплуатацию также показали водонепроницаемость бетона сооружения.

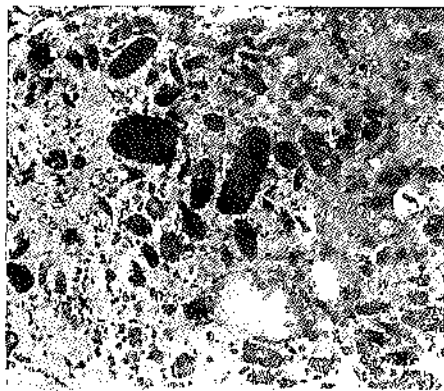


Рис. 48. Шлиф образца бетона из дюкера.

Возведение набережной. При возведении участка набережной длиной 190 м для постройки фундаментной части было применено подводное бетонирование по методу вертикально перемещающейся трубы.¹ Ширина фундамента составляла около

¹ Ritter, Das Einbringen von Beton nach dem Contractorverfahren, Hoch u. Tiefbau № 8/9, 1934.

4,90 м при высоте от 2,5 до 3,0 м. Работа произведена за металлическими шпунтами. Вся стенка была разделена на 4 равных участка длиной около 47,5 м. В соответствии с этим были сооружены 4 котлована, огражденные со всех сторон.

Грунт из котлована удалялся с помощью плавучего грейфера, без водоотлива. Затем, не прибегая к водоотливу, было произведено бетонирование под водой фундаментной части стенки. Прежде чем приступить к бетонированию, каждый из четырех котлованов был еще подразделен на блоки. Длина секции, считая вдоль причальной линии, равнялась 15,85 м. Обе необходимые для этого перегородки состояли из железобетонных балок, длиной около 4,9 м, уложенных одна на другую и входящих в два противоположных паза шпунтовых стенок. Впоследствии балки остались в составе сооружения. Бетонирование отдельных секций фундамента, длиной 15,85 м, было произведено с помощью трех работавших одновременно труб. Расстояние между трубами составляло около 5,30 м. Бетон заготавливался на берегу и затем по лоткам подавался в воронки труб. Над каждой воронкой была сооружена вторая воронка. Верхняя воронка также снабжена трубой. Эта последняя труба была прочно укреплена на специальных лесах высотой 5 м и состояла из 3 звеньев длиной 1,0 м каждое.

В процессе производства работы, когда нижняя труба постепенно поднималась вверх (по мере поднятия уровня бетона), не укорачивали нижнюю трубу, а отнимали звенья верхней трубы. Это представляло известные удобства, так как обеспечивало непрерывный процесс работы по подводному бетонированию.

По истечении 14 дней с момента окончания укладки подводного бетона котлован был осушен (рис. 49). Несмотря на то, что давление воды снаружи достигало 7—8 м, котлован оказался вполне сухим. Это указывало на то, что бетон был достаточно плотен.

Подводное бетонирование по методу вертикально перемещающейся трубы, как видно из вышеприведенных примеров,

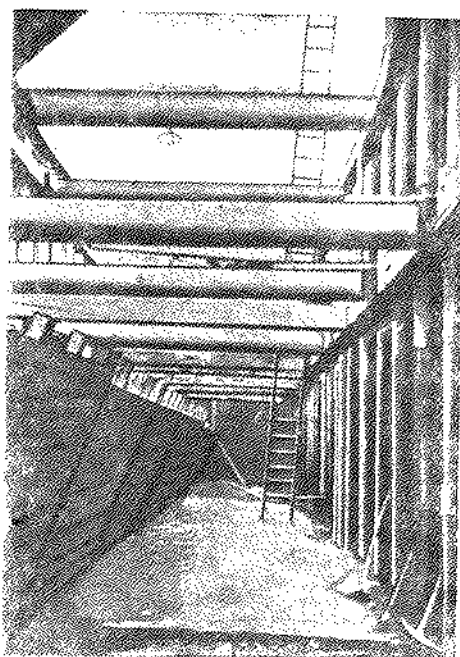


Рис. 49. Общий вид осушенного котлована под набережную после укладки подводного бетона.

обеспечивает высокое качество подводного бетона. Особенности и детали производства работ по этому методу будут изложены при описании постройки бетонного мола.¹

Постройка мола.² Мол представляет собой сквозную конструкцию, устроенную следующим образом.

На дно реки уложены мощные бетонные плиты по всей длине мола (около 52 м). Ширина каждой плиты равна ширине мола (около 5,5 м). На эти плиты опираются устои высотой 4,25 м таким образом, что на каждую плиту приходится по одному устою. Устои перекрыты верхней плитой, толщиной 3,92 м, состоящей из 3 отдельных частей (рис. 50).

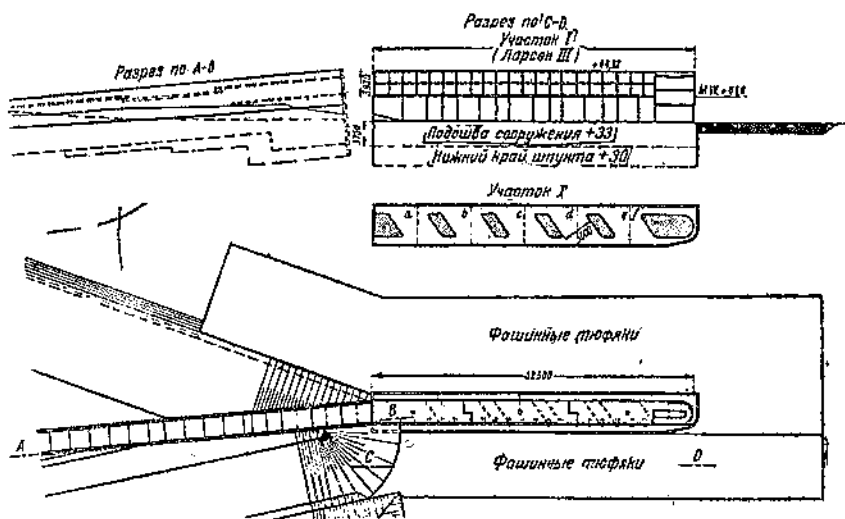


Рис. 50. Схема мола.

Выбор такой конструкции был обусловлен двумя обстоятельствами: первое — конструкция должна быть достаточно массивной, чтобы выдержать удары (навалы) судов; второе — должны быть учтены местные условия направления течения реки — во избежание отложения наносов мол не должен стеснять течения.

На участке I показаны 6 отдельных фундаментных плит. Штриховкой нанесены сечения находящихся на этих плитах устоев а—f. Отверстия между устоями предназначены для пропуска воды. Бетонные работы, связанные с устройством мола, были произведены за металлическим шпунтом, нижний край которого опущен на 3 м ниже дна котлована. Грунт основания состоял из весьма водопроницаемого песка; поэтому возможность производства работ в открытом осушенном котловане была исключена. Возможно, конечно, было уложить под водой бетонную пробку на дно котлована и затем произвести водоотлив.

¹ Die Bautechnik № 12, 1931.

² Trier u. Tode, Die Bautechnik № 12, 1931, S. 176.

Однако с целью опробования мало известного в то время (1931 г.) метода вертикально перемещающейся трубы было решено придать этой работе опытный характер.

Бетонные фундаментные плиты были изготовлены под водой по методу вертикально перемещающейся трубы. С целью выяснения пригодности этого метода для возведения отдельных стоящих бетонных массивов три устоя из шести были возведены также под водой. Далее, с целью сравнения подводного бетона с бетоном того же состава, но уложенным насухо, три других устоя были возведены насухо, после осушения котлована. Опытный характер работы и благоприятные результаты дают основание для подробного описания всех обстоятельств работ, чтобы выяснить все особенности данного метода.

Общие соображения. К консультации производства этой работы была привлечена фирма Контрактор в Стокгольме; ею были составлены:

- 1) проект промежуточных опалубок для фундаментной плиты;
- 2) проект опалубки для свободностоящих устоев;
- 3) проект воронки, трубы, системы подвеса лесов для трубы и проч.

В отношении проекта производства работ были сделаны следующие замечания:

1. Литье бетона должно происходить без перерыва. Все части оборудования, могущие дать отказ в работе, должны иметь резерв для замены.

2. Для литья бетона нужно применять трубы диаметром 265 мм. Фланцы труб необходимо тщательно обработать и уплотнить, причем размеры их должны быть совершенно одинаковы, чтобы отдельные патрубки были взаимозаменяемы. В резерве следует иметь по крайней мере 20% длины труб.

3. Плита, служащая основанием устоев, должна быть разделена на 6 частей. Сначала следует забетонировать блоки, обозначенные на рис. 51 буквами а, с и е. Для этой цели между ними и соседними блоками должны быть опущены поперечные опалубки под водой, уплотненные по бокам и снизу водолазами.

Примечание. По всему контуру сооружения (по периметру мола), как указывалось выше, был предварительно забит металлический шпунт Ларсен III, таким образом опалубка фундаментных плит свелась к отдельным щитам, устанавливаемым поперек огражденного шпунтом пространства.

4. На половине высоты блоков, отливаемых в первую очередь, т. е. блоков а, с и е, должны быть устроены штрабы треугольной формы. В эти штрабы после удаления опалубки должен войти бетон соседних блоков, образуя, таким образом, соединение. Этим достигается совместная работа отдельных блоков. Служащее для соединения устоев с плитами круглое железо перед началом бетонирования фундаментных плит должно быть укреплено в деревянных рамах в проектное положение.

5. После того, как отлиты первыми бетонные плиты отвердеют в течение 2 дней, поверхность плит а и с на площади, за-

нимаемой устоями, должна быть очищена водолазами от недостаточно прочного верхнего слоя бетона. Затем на этом месте следует установить опалубку для устоев. Места прилегания опалубки к поверхности плит должны быть уплотнены водолазами.

6. Далее, устой *a* и *c* должны быть отлиты на полную высоту. Вслед за этим необходимо удалить опалубку (поперечную) с блоков *a* и *c*, после чего можно приступить к изготовлению блока *b*. К возведению устоя *b* можно приступить после двухдневного отвердевания блока *b*. Удалив промежуточную опалубку приступают к отливке блоков *d* и *f*. Затем следует выждать столько времени, сколько необходимо, чтобы бетон отвердел и можно было произвести откачку воды из котлована.

По осушении котлована и очистке поверхности плит под устоями *d*, *e* и *f* нужно произвести бетонирование последних обычным способом. В заключение должен быть насухо уложен бетон верхней, перекрывающей устоя, плиты.

7. Перед началом бетонирования плит под водой в шпунте, окружающем котлован, с наружной стороны должны быть прорезаны достаточно большие отверстия на высоте около 10 см над поверхностью воды. Сквозь эти отверстия должна переливаться наружу вытесняемая бетоном вода. При падающем горизонте воды снаружи отверстия эти должны быть соответственно понижены.

8. Литие бетона под водой в каждый блок фундаментной плиты должно производиться одновременно двумя трубами.

Размеры мола. Длина мола — около 54 м, ширина — 6 м. Весь котлован огражден металлическим шпунтом. Замки шпунта для достижения водонепроницаемости заполнялись асфальтовым битумом. Толщина фундаментной плиты — 3,75 м. Таким образом размеры отдельных блоков фундаментной плиты составляли от 210 до 215 м³. Высота отдельных устоев — 4,25 м, объем каждого из них — около 42 м³. Общая кубатура подводного бетона — 1400 м³.

Углубление котлована производилось с помощью парового грейфера. Песок, добытый из котлована, был впоследствии использован для приготовления бетона.

Размещение оборудования. Ввиду отсутствия места оборудование и бетонный завод были размещены на шпунте, ограждающем мол. Для этой цели были уложены поперечные балки.

На рис. 51 изображена схема расположения оборудования. Емкость складов и размеры оборудования были выбраны, исходя из требования непрерывности изготовления каждого блока фундаментной плиты. Приготовление бетона велось с помощью двух бетономешалок емкостью 750 л. Вода для замеса подавалась в бак при помощи электронасоса. В качестве резервного имелся ручной насос.

Позади бетономешалок был установлен бункер для гравия, имевший два отделения вместимостью по 50 м³. Готовый бетон транспортировался в вагонетках. Опуская детали производства работы, интересные в отношении ее специфических обстоя-

тельство, но не касающиеся подводного бетонирования, обратимся к описанию собственно подводного литья бетона и необходимого для этого оборудования.

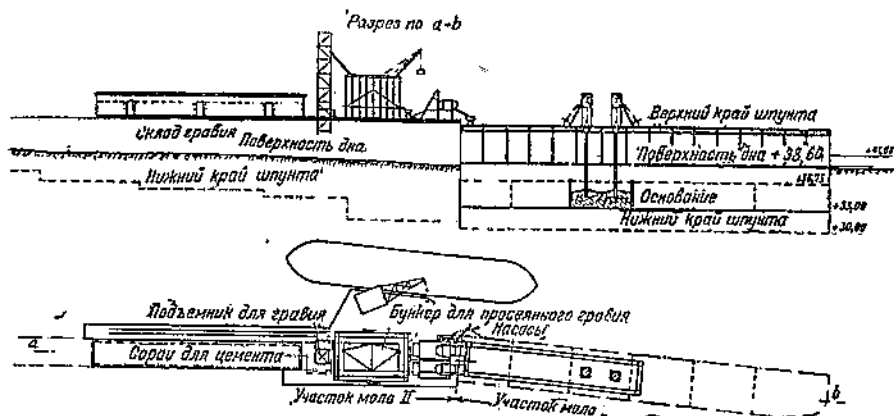


Рис. 51. Схема расположения оборудования для укладки подводного бетона в фундаментную плиту мола.

Леса для труб. Для производства подводного бетонирования были сооружены двое лесов (так как бетонирование шло одновременно через 2 трубы). Леса представляли собой несложную деревянную конструкцию, устройство которой видно на рис 52. Размеры в свету $1,22 \times 1,22$ м, высота — 4,20 м. Наверху уложены два окантованных бруса с приспособлением для центрировки подвеса воронки. Распорки сделаны только с трех сторон верхней половины лесов. Четвертая сторона подперта высокими укосинами, так как с этой стороны производилась загрузка воронки бетоном. Нижняя часть лесов была оставлена без распорок, чтобы можно было производить все необходимые операции по установке и замене труб и определению положения уровня бетона. На лесах были укреплены направляющие для воронок, устроенные из досок; направляющие расположены по углам воронок и поставлены под прямым углом друг к другу.

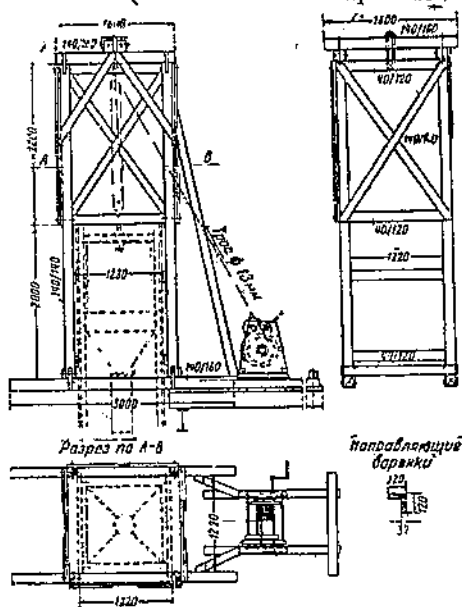
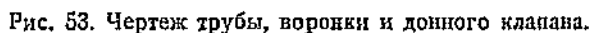


Рис. 52. Конструкция лесов для подвески труб.

Верхняя часть воронки, высотой 25 см, сделана четырехугольной размером 92 × 92 см. В углах воронки имеются захваты из полосового железа для прикрепления цепей.



Стык уголка с трубой горловины был проверен на водонепроницаемость. Внутри, сверху горловины были сделаны выступы из полосового железа для установки шарнирного донного клапана. Донный клапан изготовлен из 5-мм листового железа в виде двух полукруглых створок на оси. К оси прикреплен

ка
ла-
ее
ис-
их

ль-
из

трос, которым клапан мог быть приподнят, чтобы открыть отверстие воронки.

Трубы. Воронка была подвешена таким образом, что ее нижний край при наименьшем положении был приблизительно на 2,3 м выше поверхности воды. Ниже воронки шли трубы диаметром 265 мм. Общая длина труб, считая до низа плиты основания, равнялась 10,0 м. При этом был заготовлен резерв труб в количестве 20% общей длины. Каждый комплект труб состоял из 2 патрубков длиной 1,0 м и 5 патрубков длиной 2 м. Короткие патрубки были приболчены непосредственно к воронке, чтобы по мере подъема трубы ее можно было укорачивать. Патрубки длиной 2,0 м применялись с целью уменьшения количества фланцев. Толщина стенок труб составляла 3,0 мм. Патрубки с обоих концов были снабжены фланцами, приваренными к стенкам. Отверстия во фланцах для болтов были расположены таким образом, чтобы при замене патрубков (укорочение трубы) не было необходимости поворачивать остающуюся внизу трубу, что весьма затруднительно, или самую воронку, что невозможно по ее конструкции (направляющие). Фланцы труб были гонимы пригнаны и снабжены кожаной или резиновой прокладкой, толщиной 8 мм. Нижний конец трубы не имел фланца, а для увеличения жесткости был снабжен снаружи кольцом из полукруглого железа.

Лебедка, лампа, порталый кран. Рядом с лесами для воронки была установлена обыкновенная строительная лебедка с ленточным тормозом, причем обслуживающий лебедку рабочий мог видеть горловину воронки при всех ее положениях. Лебедка имела передаточное число 1:36. Действие же лебедки на воронку при подъеме и опускании определялось отношением 1:72. Для этой цели трос, идущий на лебедку, был укреплен с воронкой через блок. Одним оборотом ручки лебедки воронка перемещалась на 3 мм. Усилие на окружности барабана лебедки не превосходило 2000 кг. Лебедка имела устройство, позволявшее быстро травить навитый на барабан канат, и, таким образом, быстро опускать воронку вниз без обратного вращения ручки лебедки. Для испытания плотности фланцевых соединений трубы была использована электрическая лампа, подвешенная на длинном стальном тросе; в неплотных местах наблюдалось просвечивание.

Перемещение лесов для воронки осуществлялось с помощью порталого крана, передвигавшегося вдоль оси мола.

Промежуточная опалубка фундаментной плиты. Фундаментная плита для бетонирования, как указывалось выше, была разделена на 6 отдельных блоков. В качестве боковой опалубки для блоков служили металлические шпунты котлована. Для поперечной опалубки были использованы деревянные щиты особой конструкции. Фирмой Контрактор был предложен проект щитовой опалубки, состоящей из 3 частей (рис. 54), но он не был принят.

Щит имел высоту 4,0 м и ширину 6,57 м. Нижний край щита

для стоек 2 и 5. Соединение сделано в виде хомутов, прикрепленных к полкам и переходящих в захваты для подъема щита. Такие же захваты предусмотрены на стойках 1 и 6 на тот случай, если бы щит не удалось вытащить, прилагая усилия к стойкам 2 и 5. Двутавры по концам были еще схвачены двумя уголками 140×140 для предупреждения бокового смещения расклинивающих брусьев. Щит был набран из горизонтально уложенных досок, строганных и снабженных шпунтом. Толщина доски в нижней части — 4 см, в верхней части — 3 см. Переход от одной толщины к другой был сделан плавным. На половине высоты щита была укреплена опалубка штрабы треугольного сечения. Опалубка, образующая гребень, укреплена лишь слегка, чтобы не было большого сопротивления при вытаскивании щита. Поверхность щита, непосредственно соприкасающаяся с бетоном, была покрыта чистым машинным маслом. Особое внимание было уделено боковому уплотнению щитов в местах примыкания их к металлическим шпунтам. Затруднение заключалось в том, что шпунты не могли быть забиты строго вертикально. Поэтому крайние стойки 1 и 6 были так укреплены, что их можно было перемещать в боковом направлении. Это позволяло, путем перемещения крайних стоек, добиться плотного прикрепления к шпунтам.

На крайних стойках в тех местах, где в результате передвижки длина досок щита была недостаточна, прикреплялись продольные доски, выравнивающие поверхность (рис. 55). На них укреплялись уплотнительные брусья, прилегающие к выступам металлического шпунта. С задней стороны щиты опалубки расклинивались и укреплялись распорками.

Погружение, уплотнение и расклинивание опалубки. Каждый щит опалубки, весом около 1,7 т, был передвинут к месту установки с помощью катучего portalного крана. Для обеспечения погружения нижнего края опалубки в грунт щиты были дополнительно нагружены. Особое внимание при погружении щитов было обращено на отвесное и равномерное их перемещение с целью избежания заклинивания опалубки между шпунтами. Клинья и распорки были установлены под водой водолазами; они же обследовали прилегание нижнего края опалубки к грунту основания. В местах, где были обнаружены неплотности, водолазы укладывали с внутренней стороны мешки с песком. По окончании бетонирования отдельного блока водолазы прежде всего удаляли клинья, распорки и мешки с песком. После этого можно было вынуть и щит. Во время погружения и установки опалубки не встретилось больших затруднений, при подъеме же пришлось приложить усилия и к захватам, укрепленным на стойках 1 и 6. Это заклинивание нельзя объяснить сцеплением досок с бетоном, скорее оно вызвано было разбуханием щитов, в результате чего они оказались защемленными между боковыми металлическими шпунтами.

Опалубка устоев. Для устройства опалубки устоев были изготовлены рамы из брусьев размером 80×180 мм. Кон-

струкция рам видна на рис. 56. Соединения осуществлены зубчатыми шайбами и болтами. Рамы расположены по высоте через 0,5 м. Между верхней и второй рамами расстояние составляло 0,7 м. Для опалубки каждого устоя, при средней высоте его 4,0 м, потребовалось использовать 8 рам. Вторая сверху и вторая снизу рамы имели в плане на концах прямоугольные треугольники. Назначение их — увеличить жесткость системы. Продольные брусья рам были стянуты 10 металлическими анкерами, как показано на рис. 56. Изнутри опалубка была обшита вертикально стоящими досками, толщиной 30 мм, строгаными и снабженными шпунтами. Внутренняя поверхность опалубки, обращенная к бетону, перед погружением в воду была промазана ма-

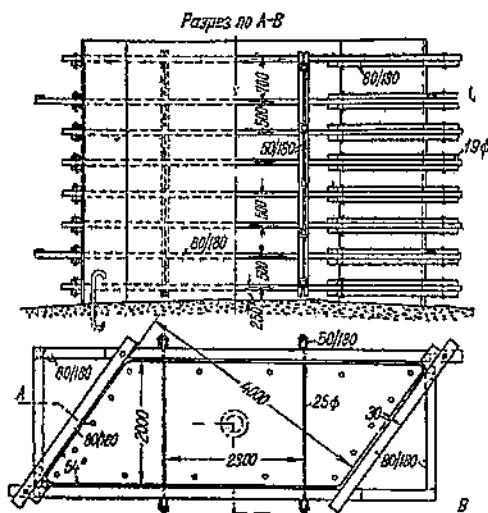


Рис. 56. Опалубка устоев мола.

шинным маслом. Нижний край опалубки вырезан в соответствии с рельефом поверхности блоков фундаментной плиты (рис. 57).

Полный вес опалубки для отдельного устоя составлял около 4 т. При погружении опалубка баластировалась камнем. Для удержания камней к рамам снаружи были прибиты доски.

Погружение, уплотнение и закрепление опалубки устоев. Погружение и установка опалубки устоев на место производились с помощью портального крана. Для того чтобы предо-

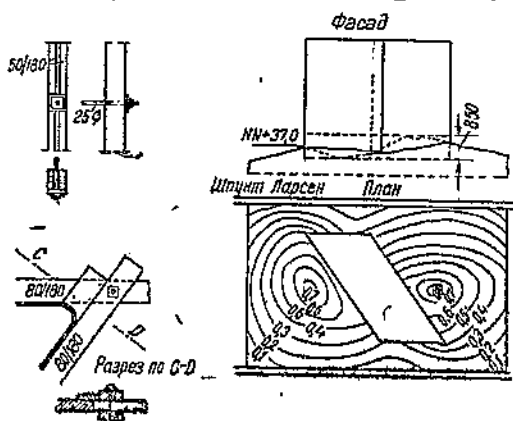


Рис. 57. Расположение опалубки устоев мола.

хранить опалубку от возможного перемещения по поверхности плиты, она была прикреплена анкерами к специальным железным стержням, ранее забетонированным в плиту. Проверка правильности положения опалубки устоев была произведена без помощи водолазов, по выставленным на поверхности воды указателям и по осям сооружения. Ошибка в установке

не превышала 5 см. Вертикальность установки была выверена с помощью отвесов, положение которых было проверено водолазами. Опалубка после окончательной установки была расклинена водолазами с металлическим шпунтом котлована. Несмотря на прирезку нижнего края опалубки по рельефу плиты, потребовалось произвести уплотнение зазоров мешками с песком, что также выполнялось водолазами.

Связь устоев с блоками фундаментной плиты. Для связи устоев с плитой основания и с плитой, перекрывающей устои, служили круглые металлические стержни длиной 1,0 м и диаметром 50 мм. Перед началом бетонирования эти стержни должны были быть укреплены в проектном положении. Стержни предварительно подвешивались к специальной раме (рис. 58), имеющей в плане то же очертание, что и устои. Эта рама прикреплялась к другой, расположенной наверху, особыми тягами. Установка и удаление рам после бетонирования плиты, а затем и устоя производились водолазами. Стержни при бетонировании оказались слегка смещенными бетоном, но это не имело большого значения для их работы.

Статический расчет опалубки. Для статического расчета опалубки фирма Контрактор принимала, на основании опытов, что давление бетона распределяется следующим образом. Начиная сверху, от нуля, давление возрастает. На глубине 1,5 м под поверхностью бетона давление равняется $2,0 \text{ т/м}^2$ и остается неизменным до основания. На месте производства работ расчеты, однако, были произведены по Ноаск'у. Принимая во внимание давление воды, вес единицы объема бетона был взят равным $1,3 \text{ т/м}^3$. Далее, было принято, что угол естественного откоса бетона характеризуется $\text{tg } \varphi = 0,27$, скорость укладки бетона $10 \text{ м}^3/\text{час}$ и температура воды 12° .

На рис. 59 показаны значения давлений на опалубку как вычисленные, так и полученные непосредственными измерениями.

Цемент и заполнители. Испытание материалов. Для приготовления бетона был применен плако-портланд-цемент.

Заполнители состояли из мелкого песка, добытого со дна котлована при его углублении, и из гравия размером от 10 до 70 мм. Кривая гранулометрического состава заполнителей была по возможности приближена к кривой Фуллера. Добавка круп-

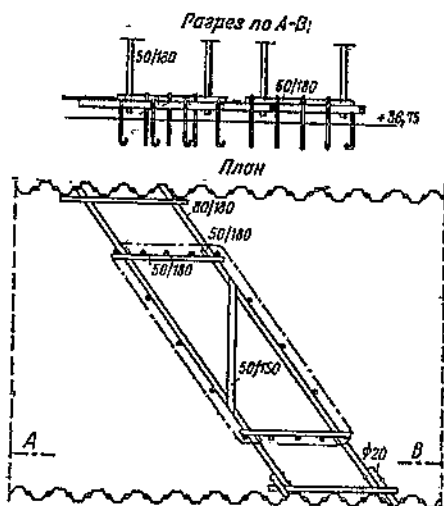


Рис. 58. Расположение арматуры устоев мола.

ных частиц гравия (от 10 до 70 мм) имела особое значение, так как благодаря ей, по опытам, произведенным в Швеции, получалась нужная консистенция бетонной смеси для подводного бетонирования. Хотя крупный гравий имел относительно мало ча-

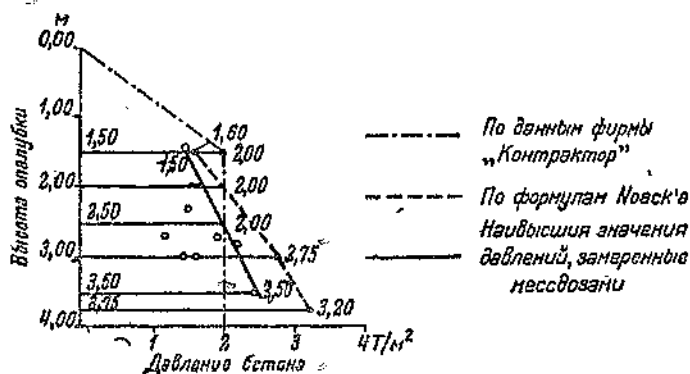


Рис. 59. Давление бетона на опалубку при подводном бетонировании.

стиц крупнее 30 мм, бетонная смесь оказалась вполне пригодной. Гранулометрия заполнителей проверялась на строительной площадке; результаты испытаний приведены на рис. 60. Исследова-

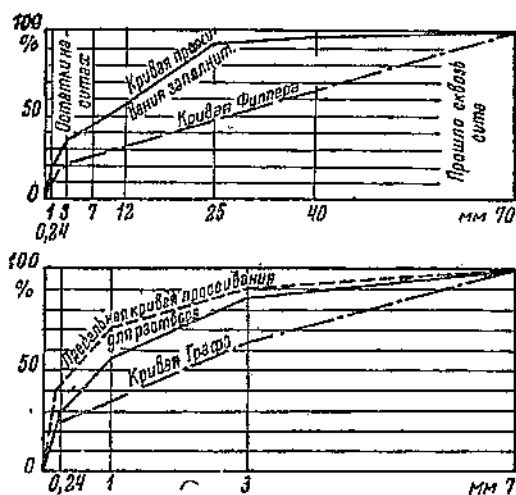


Рис. 60. Кривые гранулометрического состава заполнителей для подводного бетона.

лись также содержание глины в заполнителях, пропорция составных частей бетонной смеси, добавка воды, содержание кислот в воде, сопротивление на сжатие и плотность пробных образцов, сопротивление на растяжение и продолжительность перемешивания.

Соотношение составных частей смеси. В начале бетонирования $1 м^3$ бетонной массы состоял из 400 кг цемента, 825 кг мелкого песка и 910 кг гравия. Это соответствовало объемному отношению

1:1,3:1,8. После 20 замесов расход цемента был уменьшен до 300 кг, так что объемное отношение составляло 1:2,4:2,4. После длинных перерывов в бетонировании (достигавших иногда 15 мин.) первые замесы делались с увеличенным расходом цемента — до 400 $кг/м^3$. Таких замесов было 5—6. Добавка воды составляла в среднем 8—10% от веса, она колебалась в зависимости от со-

держания воды в заполнителях (за счет прошедших дождей и проч.). Примененный для работы бетон обладал вязкостью. На поверхности бетона вода не отделялась.

Пробные образцы. Длительность замеса бетона при изготовлении фундаментных плит составляла 2 мин. При бетонировании устоев замесы выдавались через каждые 3 мин. (с целью снижения темпов укладки бетона), чтобы не вызвать чрезмерного повышения давления бетона на опалубку. От каждых 100 м³ бетона было взято 3 пробных образца. Образцы подвергались нормальному хранению и до истечения 28 дней были раздавлены. Временное сопротивление образцов составило в среднем от 160 до 220 кг/см². Помимо этого отдельные образцы были опущены у места работ на дно реки, чтобы создать идентичные условия твердения с бетоном, уложенным в сооружение. Вследствие подъема воды в реке образец был вынут только через 38 дней и при испытании на раздавливание показал 240 кг/см². Бетон был весьма плотным. В опалубке каждого устоя были устроены 3 консоли, выступавшие на 30 см. Эти выступы-консоли представляли собой контрольные образцы, которые сравнивались с образцами нормального хранения, того же состава бетона. Бетон консолей вследствие высокой воды был испытан также лишь через 38 дней. Прочность на сжатие этих образцов составляла от 170 до 210 кг/см².

Разбивка фундаментной плиты на блоки. При бетонировании поверхность бетона у труб оказалась выше, чем у опалубки. Чтобы удержать различие высот в допустимых пределах и сделать фундаментную плиту по возможности ровной, плита была разделена на блоки. По предложению фирмы Контрактор, каждой трубе было уделено 25—30 м². Для фундаментной плиты желательны более крупные блоки, чтобы число швов было меньше. Однако, учитывая первый опыт применения подводного бетонирования и трудность одновременной работы тремя трубами и более, было решено разбить сооружение на блоки, исходя из одновременной работы двумя трубами. В соответствии с этим фундаментная плита была разделена на 6 отдельных блоков, длиной около 9 м каждый. Ширина блоков между шпунтовыми стенами равнялась примерно 6,3 м. Таким образом, площадь отдельного блока составляла около 56,7 м². Каждый блок фундаментной плиты имел, при толщине 3,75 м, объем около 210,0 м³.

Установка труб внутри блоков. Обе трубы были установлены по длинной оси блока симметрично на расстоянии 4,5 м одна от другой. Наибольшее расстояние от трубы до угла опалубки составляло около 3,9 м.

Устои были забетонированы с помощью одной трубы, установленной в середине устоя. Наибольшее расстояние от трубы до опалубки составляло в этом случае 3,2 м. При установке труб в устоях было обращено особое внимание на то, чтобы труба находилась над наиболее низким местом площади основания устоя, учитывая неровности поверхности фундаментной

плиты. В противном случае первые порции бетона могли бы быстро выскользнуть из трубы и дать возможность воде проникнуть снизу в трубу, что совершенно недопустимо.

Пробка из мешков. До начала бетонирования в горловину воронки была заложена пробка из 3—5 старых джутовых мешков. Предварительно они были уложены один на другой и затем сложены вдвое или втрое, так что образовался квадрат. Четыре угла получившегося квадрата были отогнуты кверху. Пробка, засунутая в горловину, находилась непосредственно под донным клапаном воронки. При укладке донного клапана наблюдали за тем, чтобы края его не заклинились. Донный клапан был подвешен на тросе, свободно (без натяжения) перекинутом через блок на лесах. Воронка и труба с помощью лебедки были опущены настолько, что нижний конец трубы плотно стал на дно.

Первое наполнение воронки и трубы. Наблюдения во время бетонирования. Чтобы устранить возможность смещения донного клапана при наполнении воронки бетоном предварительно уложили на клапан некоторое количество бетона. Затем заполнили бетоном воронку и возможно быстро вытянули донный клапан. Одновременно воронка и труба были приподняты на 5—10 см, чтобы облегчить выход находившимся в трубе воде и воздуху. При бетонировании фундаментной плиты труба была приподнята несколько выше, чем при бетонировании устоев. В первом случае нижний конец трубы был погружен в песок дна котлована, а во втором труба стояла не на песке, а на бетоне фундаментной плиты. После того как бетон начал выходить из трубы, воронка загружалась новыми порциями бетона; подача бетона производилась вагонетками. Как только бетон, загруженный в воронку, переставал оседать в опущенную вниз трубу, ее снова приподнимали. Затем загружали следующую порцию и т. д. При слишком быстром движении бетона трубу немедленно опускали, чтобы бетон не мог в ней сильно понизиться, и путем прижимания конца трубы к основанию задерживали вытекание из нее бетона. Величина поднимания и опускания трубы колебалась от 1 до 5 см. После 10 замесов была включена в работу вторая труба. Первая воронка получила затем лишь столько замесов, что обе воронки к моменту израсходования 20 замесов (каждая) с 400 кг содержания цемента пришли одновременно и добавка цемента для обеих воронок могла быть уменьшена до 300 кг. При бетонировании было установлено промером, что труба погружена в бетон примерно на 2,9 м. Также была определена высота поверхности бетона у опалубки. Оказалось, что бетон по направлению длинной оси блока, на расстоянии 2,25 м от трубы, понизился на 40 см и в углах опалубки, в расстоянии 3,9 м от трубы, — на 85 см. Таким образом верхняя поверхность бетона имела падение от 1:6 до 1:5. Это понижение, размер которого зависит от свойства добавок и консистенции бетона, должно быть учтено при проектировании опалубки с тем, чтобы проектная высота бетона в отде

деннейших от воронки точках действительно могла быть достигнута.

Когда по мере повышения уровня бетона труба поднималась настолько, что вагонетки, которыми подвозился бетон, не могли подойти к верху воронки, одно колено трубы удалялось. На это требовалось максимум 8 мин. Было замечено, что труба под влиянием веса бетона немного отклонялась от вертикали в различных направлениях. Случалось также, что труба оставалась стоять в косом положении, когда она была глубоко воткнута в бетон. В этом случае в трубу вводилась более сухая смесь и воронка приподнималась выше (без опасности быстрого вытекания бетона). Одновременно воронка подвешивалась косо с противоположной стороны, чтобы вес наполненной трубы сам выравнивал ее вертикальность. В отдельных случаях труба выравнивалась путем натяжения троса, прикрепленного к ней.

К моменту окончания бетонирования труба должна быть вынута, причем, когда нижний конец трубы приближается к верхней поверхности бетона и вода начинает снаружи проникать внутрь трубы, последняя должна быть с большой скоростью поднята примерно на 30 см. Этим приемом может быть избегнуто вымывание бетона у отверстия трубы и предупреждено образование воронки в теле бетона.

Продолжительность бетонирования. На бетонирование одного блока фундаментной плиты, при высоте его 3,75 м, потребовалось от 16 до 19 час., а на бетонирование устоя, высотой 4,0 м. — от 5 до 7 час. Таким образом, при бетонировании блоков фундаментной плиты за 1 час укладывали бетона от 20 до 23 см по высоте, а при бетонировании устоев — от 60 до 80 см.

Регулировка уровня воды в котловане. Вода, вытесняемая бетоном, удалялась из котлована через 2 отверстия, прорезанные в шпунте. Площадь каждого отверстия составляла 100 см².

Бетонирование, произведенное в осушенном котловане. Как упоминалось выше, с целью сравнения, на этой постройке было произведено бетонирование устоя в осушенном котловане по методу вертикально перемещающейся трубы. Состав бетона — такой же, как и для подводного бетонирования. Наблюдения за процессом выхода бетона из трубы и распространения его в опалубке позволили выяснить детали этого процесса. При первоначальном распространении бетона в опалубке большая часть свежих порций бетона поднималась у трубы снаружи над ранее вылитым бетоном и лишь слегка отодвигала последний в стороны. При увеличении толщины слоя бетона и соответственно более глубоком погружении конца трубы в бетон этот процесс поднятия свежего бетона у трубы становился все менее заметным. В дальнейшем наблюдалось равномерное поднятие всей поверхности бетона от трубы до опалубки.

Из наблюдений за этим процессом выяснилось, что только

первые порции бетона входят в соприкосновение с водой. Чтобы в дальнейшем была совершенно исключена возможность вымывания цемента из бетонной смеси, необходимо добиваться спокойного подъема всей массы уже уложенного бетона под напором свежих порций его.

Сроки распалубки. Опалубка блоков фундаментной плиты была снята через двое суток после окончания укладки. Температура воды колебалась около 10° . Устой, учитывая, что к моменту их бетонирования температура воды упала до 4° , дольше оставались в опалубке.

Наблюдения после осушения котлована. Ввиду того, что во время производства работы по бетонированию котлован неоднократно затоплялся водой, на поверхности бетона был обнаружен слой или толщину около 2 см. После

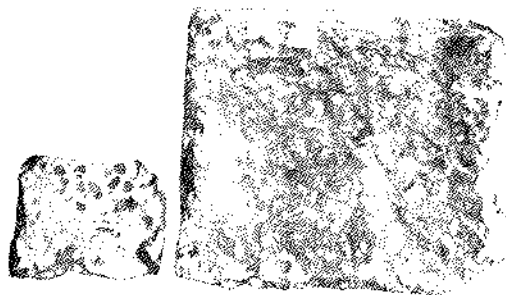


Рис. 61. Образец подводного бетона из п. ола.

его удаления поверхность плиты была обследована, причем не было обнаружено вымытых мест. Осевший цементный шлам оказался в незначительных количествах в более пониженных местах, а именно — у краев отдельных блоков, а также там, где встречался бетон из обеих труб. Толщина слоя шлама равнялась примерно 2 мм. Под шламом была обнаружена совершенно однородная масса бетона. Швы между отдельными блоками были едва различимы. Особенно благоприятное впечатление произвела наружная поверхность устоев. Поверхность всех трех устоев, отлитых под водой, и устоя, отлитого насухо, по методу вертикально перемещающейся трубы, имела поразительно гладкий вид, нисколько не уступающий поверхности, получаемой при бетонировании литым бетоном обычным способом на воздухе. Места, где были выпущены консоли, из которых изготовлены образцы, показали в изломе безукоризненное распределение заполнителей в массе бетона (рис. 61).

Плоскости сопряжения устоев и фундаментных плит были вполне плотны и не имели гнезд травя, не связанного цементом.

Рабочая сила, занятая на подводном бетонировании. На работе по бетонированию фундаментной плиты было занято около 75 человек. Работа велась в 2 смены в течение 16 час. в сутки. По специальностям рабочие распределялись следующим образом: 3 десятника, 20 плотников, 5 машинистов и слесарей и 47 человек подсобников. В каждой смене в среднем работали 2 десятника, 1 рабочий на бетономешалке, 10 рабочих на загрузке заполнителей, на отвешивании и за-

грузке цемента, 8 рабочих на подвозке бетона к воронкам, 2 рабочих на обслуживании воронки и 15 рабочих на выгрузке стройматериалов и прочих работах. При одновременном бетонировании двух устоев, возведение которых длилось только 5 час., было занято в среднем 23 человека: 2 десятника, 5 машинистов и слесарей, 16 подсобных рабочих. При выполнении этих работ в каждой смене работали: 2 десятника, 1 рабочий на обслуживании бетономешалки, 5 рабочих на загрузке заполнителей, отвешивании и загрузке цемента, 4 рабочих на подвозке бетона к воронкам, 2 рабочих на обслуживании воронок и 9 рабочих на разгрузке стройматериалов и других работах. Перерывов в работе во время бетонирования не было. В обеденные перерывы в работу включались резервные рабочие. При производстве работы постоянно был водолаз со снаряжением.

На примере этой работы мы видим, что метод вертикально перемещающейся трубы, обеспечивающий безукоризненное качество подводного бетона, с одинаковым успехом применим как для частей сооружений, заглубленных в грунт, так и для свободно стоящих сооружений.

ГЛАВА III

БЕТОНОНАСОСЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ПОДВОДНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ

9. Бетононасосы, принцип их действия и конструкции

Общие положения. Мы рассмотрели все существующие методы подводного бетонирования. Как легко усмотреть из всего изложенного, единственным методом, гарантирующим, при правильном его применении, высокое качество подводного бетона, является метод укладки с помощью трубы, перемещающейся в вертикальном направлении¹ («tremie method» — метод «контрактор»). На пути современного усовершенствования этого метода мы встречаемся с применением насосов для подачи бетона в трубу. Задача получения под водой бетона высокого качества требует, помимо правильного производства работ, надлежащего приготовления и транспорта бетонной смеси. Вопросы транспорта бетона от места его приготовления к месту укладки, оказывающие большое влияние на качество бетона вообще, приобретают в рассматриваемом случае особое значение. Транспорт бетона должен быть налажен так, чтобы готовая бетонная смесь не претерпела распада на составные части.² В описанных выше примерах отмечается, что во избежание распада бетона бетономешалку обычно устанавливают в непосредственной близости к месту укладки бетона. Однако при достаточно длинном фронте

¹ Здесь речь идет о методах, когда бетон заготавливается на поверхности воды. О методе заливки цементным раствором каменной наброски под водой будет сказано ниже.

² Saquet et Fauray, *Études entreprises sur la plasticité de mise en oeuvre du béton*, Revue des matér. de constr. № 339 и 340, 1937.

работы это не всегда оказывается возможным, поэтому в подобных случаях прибегают к применению подачи бетона по лоткам и трубам самотеком. Наконец, при значительном расстоянии бетономешалки от места укладки бетон доставляют в тачках и вагонетках. Следует отметить, что ни один из перечисленных способов доставки не гарантирует бетон от распадаения. Поэтому, учитывая особое значение равномерности бетонной смеси в момент загрузки в воронку трубы, с помощью которой производится подводное бетонирование, остановимся на одном из наиболее совершенных способов транспорта бетона — подаче бетона насосами. Способ этот получил широкое распространение при возведении бетонных сооружений, начиная с 1930 г. Испытанный на многочисленных и разнообразных по своему характеру стройках, способ насосоподачи бетона получает в последнее время применение и в области подводного бетонирования. Прежде чем перейти к описанию случаев применения насосоподачи бетона в схеме подводного бетонирования, остановимся на рассмотрении самого способа подачи бетона насосами и конструкций последних, а также коснемся вопроса о бетонных смесях, наиболее пригодных для насосоподачи. Последний вопрос приобретает особый интерес, так как, повидимому, бетонные смеси, наиболее пригодные для насосоподачи, являются в то же время и наиболее пригодными для целей подводного бетонирования.

Этот вопрос будет освещен нами на основании новейших, по преимуществу американских, данных, так как система подачи бетона насосами получила наибольшее распространение именно в США.¹ Не останавливаясь на рассмотрении ранних конструкций бетононасосов, представляющих теперь главным образом исторический интерес, изложим сущность самого способа подачи и приведем описание последних типов бетононасосов.

Подача бетона насосами, получившая в США название «Pumpcrete», состоит в транспорте свежего пластичного бетона по металлическим трубам с помощью насосов прямого действия.

Готовый бетон подается к приемнику насоса и затем проталкивается последним в трубопровод. Так как бетон относительно малосжимаем, каждый толчок поршня насоса выталкивает из трубопровода, после того как он целиком заполнен бетоном, порцию бетона, приблизительно равную емкости цилиндра насоса. Таким образом трубы постоянно должны быть вполне заполнены бетоном. Следует сказать, что подача бетона насосом представляет значительные затруднения вследствие неоднородности нагнетаемой массы и сравнительно быстрого схватывания. Кроме того наличие в бетоне твердых частиц делает нагнетаемую массу весьма абразивной.

Принцип действия бетононасосов. Бетононасос современной

¹ Ch. Ball, Concrete by pump and pipeline, Journal of the Amer. Concr. Inst. № 3, 1936, v. 7.

Ch. Ball, Pumping concrete on the smaller job, Concrete № 5, 1937, v. 45.
Инж. К. М. Соколов, Бетононасосы и их применение в Америке, Строительная промышленность № 1, 1938.

конструкции представляет собой горизонтальный поршневой насос прямого действия (рис. 62) с приемной воронкой. Насос имеет два клапана пробочного типа — входной наверху, несколько ниже воронки, и выходной внизу, на одной линии с цилиндром насоса. Движения клапанов так связаны с движением поршня, что соответственно положению поршня они последовательно открываются и закрываются. Цикл действия состоит в следующем. Входной клапан открыт, поршень находится в крайнем заднем положении. Выходной клапан закрыт. В воронку насоса подается порция бетона, которая заполняет рабочую камеру насоса. Поршень начинает перемещаться из своего заднего положения в переднее. При этом входной клапан закрывается, а выходной открывается. Закрывание и открывание

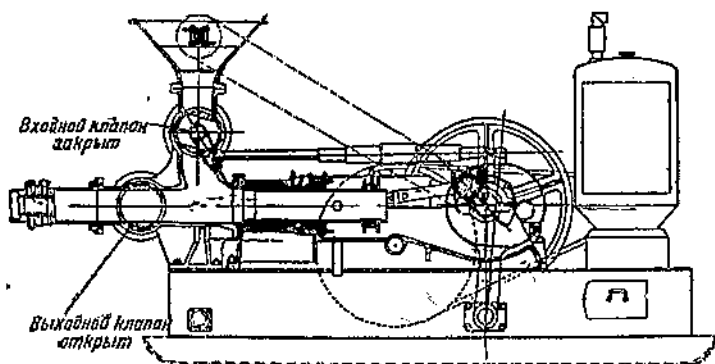


Рис. 62. Схематический разрез насоса для подачи бетона.

клапанов происходит резко. Порция бетона при движении поршня вперед проталкивается в трубопровод. Затем при перемещении поршня назад выходной клапан закрывается, открывается входной, и к моменту нахождения поршня в крайнем заднем положении рабочая камера заполнена новой порцией бетона. Далее цикл повторяется в той же последовательности. Опуская подробности механического устройства бетононасосов, представляющие специальный интерес, отметим, что насос в общем, имея большое сходство с обычными водяными поршневыми насосами, обладает рядом особенностей устройства. Так, например, поршень не приходит в непосредственное соприкосновение ни с бетоном, ни со стенками цилиндра. Это достигается тем, что на поршень надета особая расширяющаяся резиновая манжета. Пространство позади манжеты постоянно омывается водой. Так как все части бетононасоса, непосредственно соприкасающиеся с бетоном, подвержены значительному износу, применяются вкладыши повышенной прочности, а также предусматривается возможность быстрой замены износившихся частей.

Наиболее широко распространены в США бетононасосы с цилиндром диаметром 190 мм и ходом поршня 30 см, имеющие

при нормальной скорости производительность от 17,2 до 28 м³/час, в зависимости от удобообрабатываемости бетона и, до некоторой степени, от комбинации высоты и дальности подачи бетона.

Для подачи бетона с максимальной крупностью заполнителей 75 мм применяются насосы с цилиндром диаметром 200 мм и ходом поршня 30 см. При этом обычно используются трубы диаметром 200 мм. Бетононасосы подобного типа отличаются пониженным расположением воронки за счет конструктивных изменений входного клапана. Наряду с одноцилиндровыми имеются и двухцилиндровые насосы.

Для приведения бетононасоса в действие требуется двигатель сравнительно небольшой мощности. Одноцилиндровый насос приводится в действие 30-сильным электромотором или 40-сильным двигателем внутреннего горения. Двухцилиндровый насос производительностью до 50 м³/час требует 50-сильного электромотора или 60-сильного двигателя внутреннего горения.

Для подачи бетонных смесей с малой осадкой конуса или в тех случаях, когда может произойти распадение бетона при загрузке его в воронку насоса (например, при пользовании ленточными транспортерами или рядом желобов), последние снабжаются приспособлением, дополнительно перемешивающим бетон. Это позволяет значительно расширить диапазон смесей, пригодных для насосоподачи.

Трубопровод. Выйдя из насоса, бетон движется по трубам равномерными толчками, но все время трубы целиком заполнены и поэтому бетон не имеет тенденции к распадению. Благодаря перемешивающему действию насоса и отсутствию распада в трубопроводе бетон, достигая конца линии, обычно находится в лучшем состоянии в смысле однородности, чем был в воронке насоса.

Трубы обычно имеют диаметр, равный диаметру цилиндра насоса. В отношении сопротивлений, возникающих при движении бетона по трубам, американская практика дает некоторые приближенные данные; так, например, указывается, что трехметровый патрубок, согнутый под углом 90°, при радиусе 1,5 м создает сопротивления, равные возникающим на прямом участке трубы того же диаметра длиной 12 м.

При необходимости уменьшения диаметра трубопровода применяются переходные патрубки. Для трудных к транспорту смесей переход от диаметра 20 см к 17,5 см производится с помощью патрубка длиной около 1,8 м, а для уменьшения диаметра с 17,5 см до 15 см применяются патрубки длиной 3,0 м. Соединение в случае надобности двух линий труб в одну осуществляется с помощью специального патрубка-развилки Y-образной формы. Соединение отдельных звеньев труб между собой производится с помощью замков, изображенных на рис. 63. Стандартная длина патрубков — 3 м. Применяются также патрубки длиной 1,5 м; 1,0 м; 0,3 м. Колена имеют углы 90°; 45°; 22½°. Толщина стенок труб — около 5 мм (3/16"). Износ их

незначителен: многие трубы, включая и колена, были, по американским данным, пригодны после того, как по ним было подано свыше 38 000 м³ бетона.

При расчете подачи бетона насосами в США руководствуются тем, что сопротивление запроектированной линии не должно превосходить сопротивления определенных соответственных длин, приводимых в табл. 2 для различных типов бетононасосов.

Комбинация горизонтальных и вертикальных участков оценивается, исходя из того, что сопротивление вертикального участка длиной 1 м эквивалентно сопротивлению горизонтального участка длиной 8 м.

Очистка трубопровода.
В практике США очистка трубопровода производится с помощью особого банника (так называемого go-devil), который прогоняется по трубам напором воды или сжатого воздуха. Банник представляет собой деталь в виде гантели с резиновыми манжетами на концах. Резина плотно прилегает к стенкам трубопровода, будучи обращена вогнутостью кнаружи.

Вся операция очистки состоит в следующем. По окончании укладки бетона все содержимое воронки проталкивается в трубопровод. Если бетон подавался по вертикальной трубе, закрывают клапан-задвижку в линии для того, чтобы бетон не вышел обратно из трубы. Отделив линию от насоса, вставляют патрубок между насосом и трубопроводом, в который предварительно заложен банник. Впереди банника закладывают пробку из мешков или стружек, затем банник и снова пробку из мешков или стружек. Бетононасос тщательно промывают и снабжают клапанами для воды. Бетононасос, превращенный таким образом в водяной насос, приводится в действие. Он проталкивает водой

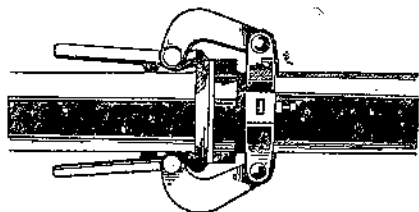


Рис. 63. Замки для соединения трубопровода при подаче бетона насосом.

Таблица 2

Диаметр труб мм	Соответ- ственная дли- на прямой горизон- тальной трубы м	Вертикаль- ное рассто- яние м	Наиболь- ший размер заполните- лей мм "
Бетононасос 200 мм			
200	300	30	75
175	240	30	62
Бетононасос 190 мм			
175	300	30	62
150	180	30	37

¹ Колено 90° соответствует горизонтальному участку длиной около 12 м; колено 45° соответствует горизонтальному участку длиной 6 м; колено 22 1/2° соответствует горизонтальному участку длиной 3 м.

² Не выше 60 м.

банник, вытесняющий из трубопровода весь бетон. Для проталкивания банника можно также использовать насос производительностью 300 л/мин. и давлением 35 ат. Вся очистка, по американским данным, занимает несколько минут.

Распределение бетона. Для распределения бетона на месте укладки при выходе его из трубопровода используются различные приспособления. Применяются простейшие желоба и лотки, а также патрубки, шарнирно соединенные с трубопроводом. Таким образом конец патрубков может перемещаться по дугам окружностей. Приспособления такого типа устанавливаются на А-образной раме или снабжаются противовесом. Трубопровод, помимо распределительных устройств, снабжается еще особыми задвижками. При подаче бетона вниз задвижка устанавливается у нижнего конца трубопровода, при подаче вверх — непосредственно вблизи насоса. Назначение задвижки — перекрыть трубопровод в случае остановки подачи бетона. Задвижка у насоса используется также при очистке трубопровода, как было пояснено выше. Применяются кроме того и промежуточные гибкие соединения. Так, например, при постройке моста в Сан-Франциско — Оклэнд были применены гибкие соединения, так как плавучий бетонный завод, находившийся на барже, имел перемещения относительно кессонов за счет приливно-отливных колебаний уровня воды и волнения. В этом случае соединение было рассчитано на давление 49 кг/см².

Общие данные о насосоподаче бетона. По вопросу о приготовлении бетонных смесей для насосоподачи нет исчерпывающих данных. Известно, например, что более сухие смеси требуют больших усилий при нагнетании, чем смеси с большим содержанием воды. С другой стороны, некоторые смеси со сравнительно низким процентом содержания воды легче прогнать по трубопроводу вследствие их лучшей пригодности для нагнетания. Объемная производительность системы, т. е. отношение объема бетона, вышедшего из трубы, к объему пространства, пройденного поршнем, зависит, вообще говоря, от 1) консистенции и удобообрабатываемости смеси и 2) от высоты и длины нагнетания. Если бетон пригоден для нагнетания («pumpable») и обладает осадкой конуса от 5 до 15 см, объемная производительность редко падает ниже 80%. Для средних и коротких расстояний, при горизонтальной подаче, производительность часто превышает 90%, а иногда и 95%. Если бетон мало пригоден для насосоподачи, средняя производительность может упасть до 30%. Так как бетон перемещается по трубам пульсирующими толчками, то после каждого толчка масса бетона останавливается. Опытами не установлено, что близость или удаленность от насоса вертикального участка трубопровода имеет значительное влияние на предельную дальность подачи или производительность. Однако, учитывая размеренные во времени остановки потока бетона в трубе после каждого движения поршня насоса вперед, предпочтительно иметь между насосом и ближайшим вертикальным участком трубы отрезок длиной

10—15 м. В этом случае инерция массы бетона в горизонтальном участке трубы до некоторой степени гасит обратное давление массы бетона в вертикальном или наклонном участке во время обратного хода поршня.

Бетонные смеси. По американским данным, почти все обычно употребляемые бетоны пригодны для подачи бетононасосами, но при условии, что они обладают хорошей удобообрабатываемостью. Удобообрабатываемость практически оценивается легкостью течения, укладки или вибрации бетона на месте в опалубке. Многие из факторов, улучшающих удобообрабатываемость в этом смысле, улучшают и пригодность бетонной смеси для насосоподачи.

Как указывается в американских источниках, вопрос о бетонных смесях для насосоподачи достаточно сложен, чтобы его можно было обобщить. Можно привести некоторые данные. Так, например, содержание цемента в бетоне колеблется от 223 до 335 кг/м³, часто оно составляет около 250 кг/м³. Минимальное содержание песка около 594 кг/м³, максимальное — 830 кг/м³. Максимальная крупность заполнителей — 75 мм. При больших расстояниях и высоте подачи осадка конуса должна быть от 15 до 18 см.

Практика последних лет применения бетононасосов в Западной Европе указывает следующие данные по вопросу состава бетонной смеси для подачи ее насосами.¹

Гранулометрический состав заполнителей при расходе цемента 200 кг/м³ бетона

Мелкие заполнители:

0—1 мм	около 20%	} 50%. Кривая по возможности плавная.
1—3 "	" 15%	
3—7 "	" 15%	

Крупные заполнители:

7—30 мм	около 35%	} 50%.
30—70 "	" 15%	

Гранулометрический состав заполнителей при расходе цемента 300 кг/м³ бетона

Мелкие заполнители:

0—1 мм	около 18%	} 40%.
1—3 "	" 12%	
3—7 "	" 10%	

Крупные заполнители:

7—30 мм	около 45%	} 60%. Кривая по возможности плавная.
30—70 "	" 15%	

Осадка конуса — 60 мм.

Современные конструкции бетононасосов. Обращаясь к описанию современных типов бетононасосов, следует сказать, что

¹ Beton u. Eisen № 24, 1937.

почти все последние типы представляют собой поршневые насосы с горизонтально расположенными цилиндрами.

Изготавливаются насосы одноцилиндровые и двухцилиндровые. Разделение насосов на две основные разновидности может быть произведено по признаку конструкции распределительного устройства для приема и выпуска бетонной массы. Имеются на-

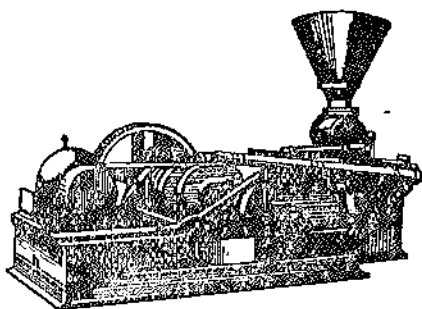


Рис. 64. Общий вид бетононасоса ССМ-1.

сосы, в которых применен один поворотный клапан-шибер. Впуск и выпуск бетона производится поворотом шиберов на 90° вперед и назад от среднего положения.¹ Новейшие улучшения этого типа заключаются в том, что привод шиберов осуществляется рычагами в отличие от первоначальных конструкций, в которых управление осуществлялось зубчатой рейкой. Это конструктивное изменение позволило увеличить производительность насосов и повысить надежность работы.

Насосы второй разновидности имеют два отдельных клапана для впуска и выпуска бетона.² Эти насосы изготавливаются одноцилиндровыми и двухцилиндровыми. Клапаны — пробочного типа. Названная конструкция получила широкое распространение в США. Имеются насосы производительностью от 12 до 18 м³/час, дальность подачи бетона достигает 250 м, а высота нагнетания — 35—40 м. Эти насосы приводятся в действие двигателями мощностью от 30 до 40 лс.

В СССР изготовлены (на заводе «Красный Молот» в Грозном) опытные образцы бетонона-

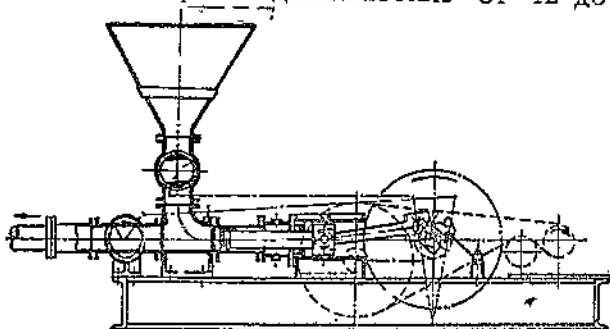


Рис. 65. Разрез бетононасоса ССМ-1.

сосов ССМ-1 целиком из отечественных материалов.³

Конструктивная схема бетононасоса ССМ-1 представляет собой двухклапанный насос (рис. 64 и 65). Бетононасос приводится в действие через ременную передачу от электромотора

¹ Тип Кайзер.

² Тип Койман.

³ Инж. К. М. Соколов и инж. Н. С. Петров, Опыт применения бетононасоса ССМ-1, Строительная промышленность № 6, 1938.

мощностью 20,5 кВт, установленного на раме насоса. Бетоновод изготовлен из трубы с внутренним диаметром около 180 мм и толщиной стенок 8—9 мм.

Бетононасосы ССМ-1 испытывались на строительстве Дома Советов в Ленинграде. Данные испытания послужили материалом для дальнейшего усовершенствования бетононасосов этого образца. Производительность бетононасоса ССМ-1 при испытании оказалась в пределах от 14 до 20 м³/час. В настоящее время в Ленинградском институте механизации строительства на основе накопленного опыта разработаны мероприятия по улучшению конструктивных и эксплуатационных качеств насоса.

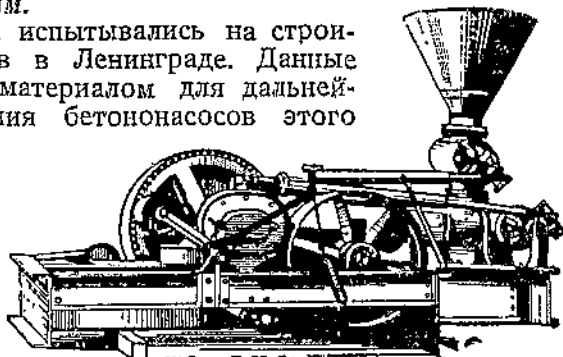


Рис. 66. Насос для бетона с двумя клапанами.

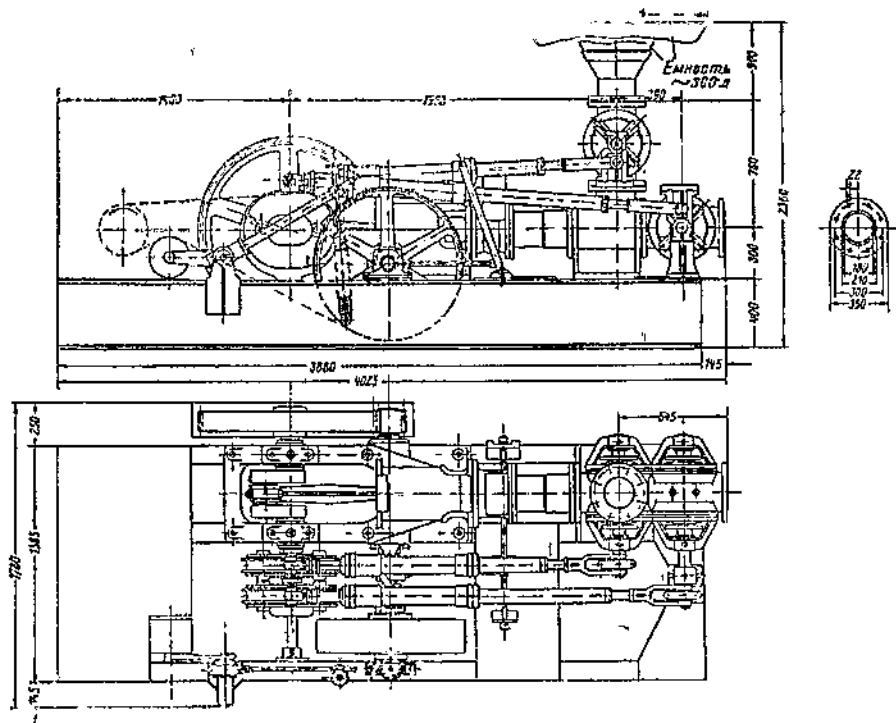


Рис. 67. Схематический чертеж бетононасоса с двумя клапанами.

Ниже мы приводим некоторые данные и схемы нескольких насосов, применяемых в иностранной практике.

На рис. 66 и 67 представлен насос производительностью от

12 до 18 м³/час. При трубах диаметром 150 мм максимальная крупность заполнителей составляет 50 мм, при диаметре 180 мм — крупность 70 мм.¹

Имеются насосы производительностью от 8 до 10 м³/час. Дальность их подачи около 250 м, максимальная высота подачи — 35 м. Мощность двигателя — от 20 до 25 л.с.

На рис. 68 и 69 изображены общий вид и схематический разрез насоса производительностью от 8 до 10 м³/час. При диаметре труб 120 мм наибольшая крупность заполнителей 30 мм, а

Рис. 68. Насос для бетона с клапанами, объединенными в одной камере.

при диаметре 150 мм — крупность 50 мм.¹

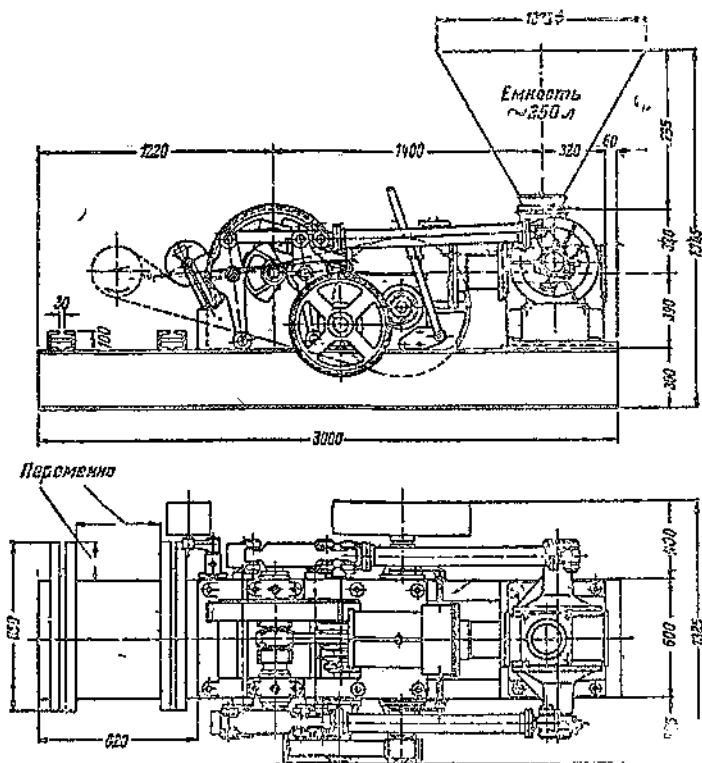


Рис. 69. Схематический чертеж бетононасоса с клапанами, объединенными в одной камере.

¹ Beton u. Eisen № 24, 1937.

Вес насоса производительностью от 12 до 18 м³/час составляет 4600 кг, а производительностью от 8 до 10 м³/час — 2900 кг. Оба клапана насоса, показанного на рис. 68, смонтированы в одной камере. Однако они имеют раздельное управление, причем один клапан служит для выпуска, а другой для выпуска бетона.

Новейший американский насос марки Rex-160 изображен на рис. 70; производительность его — от 11,5 до 19 м³/час. Насос смонтирован на шасси, снабжен пневматиками и может легко перевозиться.

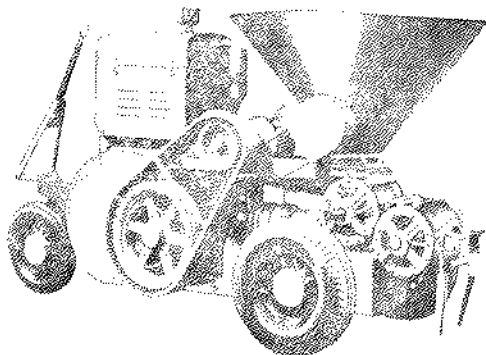


Рис. 70. Американский бетононасос Rex-160.

Установки для насосоподачи бетона. Установки для подачи бетона насосами могут быть разделены на два типа. Один тип — стационарные установки, использующие насосы большой производительности. Установка состоит из бетономешалки, оборудованной приспособлениями для загрузки цемента, заполнителей и воды; бетономешалка может разгружаться как непосредственно в воронку насоса, так и в особый бункер, а оттуда в насос (рис. 71). Другой тип — это передвижные установки. Американская практика рекомендует этот тип для построек с объемом бетонных работ меньше 3500 м³.¹

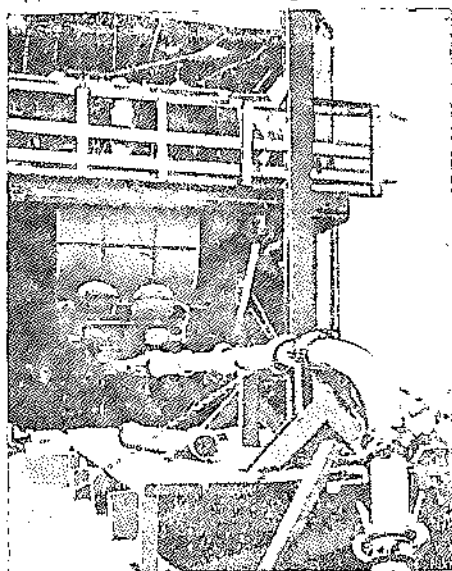


Рис. 71. Общий вид установки двух спаренных бетононасосов.

Бетононасос оборудован на тележке. Бетон подвозится в автобетоноразвозках — грузовиках, приспособленных для перевозки готового бетона, или в автобетономешалках — грузовиках, оборудованных бетономешалками, и загружается в воронку насоса. Емкость грузовиков для перевозки бетона от 1 до 3 м³. Вес такого бетононасоса около 2,5 т. На рис. 72 изображена передвижная установка, использующая бетононасос производительностью до 15 м³/час.

¹ Ch. Ball, Pumping concrete on the smaller job, Concrete № 5, 1937, v. 45.

Заканчивая этим описание бетононасосов, обратимся к вопросу транспорта бетона для подводного бетонирования. Успех бетонирования под водой, как уже упоминалось выше, в значительной степени зависит от качества бетонной смеси. Поэтому, естественно, что вопрос о транспорте бетона, обеспечивающем его высокое качество у места укладки, является весьма актуальным. Ниже мы приведем пример применения бетононасосов при сооружении шлюза.

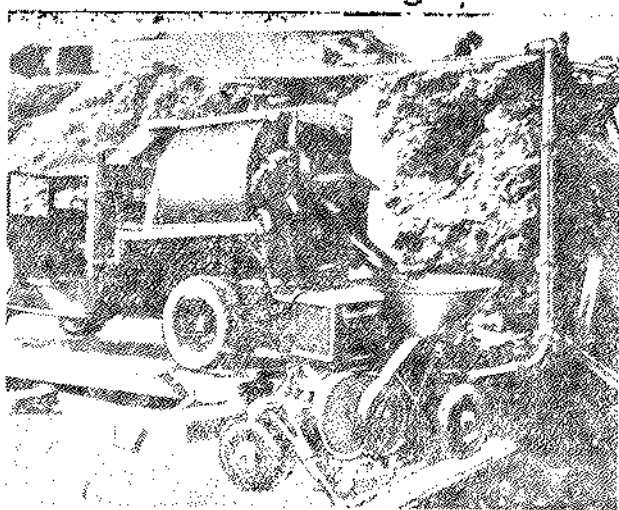


Рис. 72. Передвижная установка для насосоподачи бетона.

10. Бетонирование с применением насосоподачи бетона в комбинации с методом вертикально перемещающейся трубы

В описываемом ниже случае бетонирования шлюза был применен комбинированный метод.¹ Бетон подавался насосами, а укладка его в тело сооружения производилась с помощью вертикально перемещающейся трубы. Работа была в этом случае выполнена насухо, подобно бетонированию дюкера (§ 8). Однако все приемы, использованные при производстве данной работы, в полной мере применимы для подводного бетонирования, почему она и представляет значительный интерес.

Высота стенки шлюза, изображенного на рис. 73, составляет 14,5 м, толщина ее по низу — 9,30 м, а длина отдельных блоков — 15 м. Отдельные части сооружения, в силу своего расположения, оказались значительно разбросанными. Форма и размеры подлежащих бетонированию частей также значительно различались. По этой причине для транспорта бетона были применены бетононасосы. Наибольшая дальность подачи составляла 200 м.

¹ Der Bauingenieur № 45/46, 1937.

Для приготовления бетона были устроены 4 бетонных завода. Из соображений уменьшения дальности подачи, заводы были расположены в различных местах стройплощадки. Каждый бе-

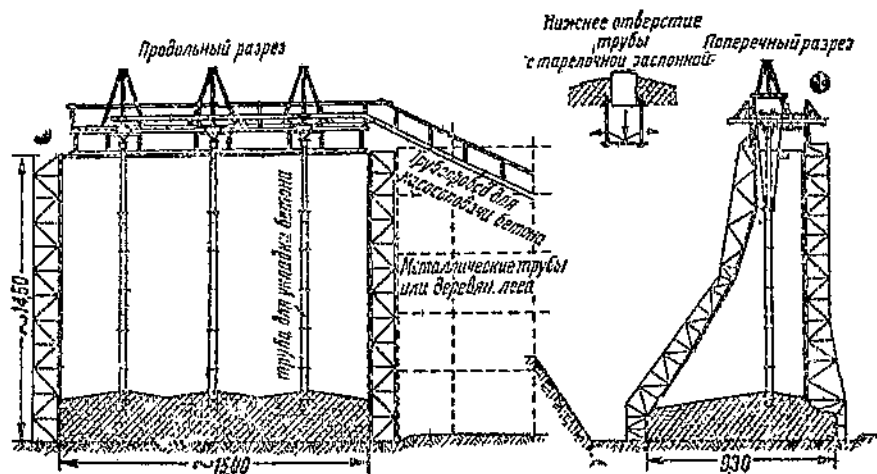


Рис. 73. Схема бетонирования стенок шлюза с помощью вертикально перемещающихся труб при подаче бетона насосами.

тонный завод имел 2 бетономешалки емкостью по 1000 л. Бетон из бетономешалок подавался в бункер, могущий принять

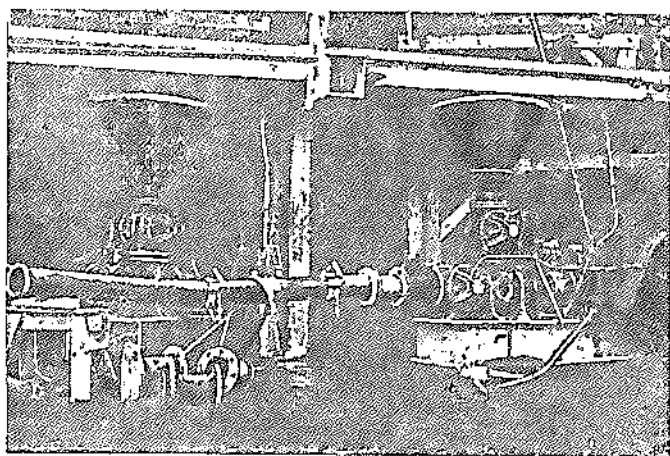


Рис. 74. Бетононасосы для подачи бетона в вертикально-перемещающиеся трубы.

несколько замесов; а отсюда поступал в воронки бетононасосов, расположенных под бункерами бетономешалок (рис. 74).

От бетононасосов трубы поднимались вверх по наклонной плоскости. На рис. 75 изображена укладка бетона в отдельные

блоки сплошных стенок. По требованиям проекта каждый отдельный блок должен был быть изготовлен в виде монолита, без каких-либо швов. Каждый блок отливался в одну операцию без перерыва. Бетонная смесь вводилась в опалубку с помощью трех вертикальных труб. Трубы были подвешены так, что при посредстве лебедки их можно было телескопически укорачивать. Трубы укорачивались по мере поднятия уровня бетона в опалубке. Нижние концы труб при этом были постоянно погружены в бетон.

Для уменьшения удара бетона при выходе его из трубы (в начале бетонирования) на 25—30 см ниже конца каждой трубы была укреплена на 3 болтах металлическая тарелка. В начале бетонирования нижний край опущенной трубы плотно прилегал к тарелке. После частичного наполнения трубы бетоном она медленно отделялась от тарелки и бетон начинал постепенно вытекать из нее.

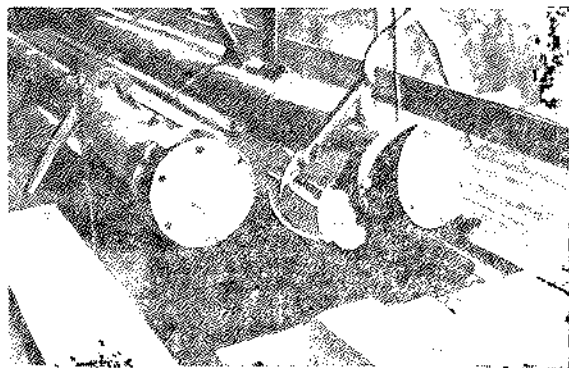


Рис. 75. Затворы на трубопроводе для загрузки бетона в воронки.

При дальнейшем подъеме трубы тарелка поднималась за трубой.

Скорость бетонирования по этому методу составляла по высоте блоков от 12 до 17 см/час.

Интересно отметить некоторые детали производства работ, связанные с особенностями насосоподачи бетона. При подаче бетона на расстояние около 200 м и на высоту около 15 м не встречалось никаких затруднений. С уменьшением высоты дальность подачи могла быть увеличена до 250 м. Кашицеобразная, но вязкая консистенция бетона позволяла во многих случаях осуществить насосоподачу при вертикальном положении трубопровода или при сильном наклоне его вниз. Но лучше это удавалось при работе с более жесткими смесями (с меньшим процентом содержания воды). Для подобного рода бетонирования, связанного с подачей бетона вниз, бетон должен быть текучим, как обычный бетон для подачи насосами. Однако оказывается, что насосоподача вниз жидких смесей (но еще не распадающихся на составные части) является просто невозможной. Это объясняется тем, что находящиеся в бетоне в большом количестве пузырьки воздуха собираются и поднимаются по трубам к насосу. Коль скоро это явление имеет место, подача бетона нарушается. Движение поршня вперед идет на сжатие воздуха. В результате бетон сжатым воздухом, скопившимся в трубопроводе, выбрасывается наружу при обратном ходе поршня насоса

и таким образом поступления бетона в рабочий цилиндр насоса не происходит. Так как при очень жестких смесях воздушные пузырьки не могут собираться и перемещаться, насосоподача жестких смесей с наклоном трубопровода вниз около 1:2 частично возможна.

Как показал опыт, при работе со смесями, склонными отделять пузырьки воздуха в наклоненных участках трубопровода, особенно ненадежными оказались бетононасосы с одним клапаном.

Помимо невозможности подавать бетон вниз, производительность таких насосов сильно падала при наличии длинных восходящих участков. Происходило это вследствие того, что пузырьки воздуха, сильно сжатые в длинном восходящем участке трубы, делали содержимое этого трубопровода очень эластичным (упругим). В момент поворота клапана бетонная масса через открытый с двух сторон проход устремлялась в него и выдавливалась назад в приемную воронку.

Этот тип насосов применим только для сравнительно коротких горизонтальных участков.

На основе опыта этой работы отмечается несколько свойств, присущих всем бетононасосам.

В очень длинном трубопроводе находится сравнительно большое количество бетона. При известных обстоятельствах бетонная смесь может достигать места укладки (опалубки) лишь по истечении 30 мин. и более после изготовления.

По выходе из трубы бетонная масса должна быть особенно быстро распределена в опалубке, до начала схватывания. Производительность бетононасосов нельзя уменьшать произвольно, так как только при непрерывном движении бетонной смеси можно избежать закупорки трубопровода.

Когда в силу тех или иных причин производительность бетононасоса должна быть снижена, следует ввести кратковременные остановки. Это позволяет снижать производительность на $\frac{1}{2}$. При попытках дальнейшего уменьшения производительности наступает, особенно в жаркое время года, закупорка трубопровода. Это явление легко объяснить, если учесть, что при таких замедленных работах бетон находится в трубопроводе около часа и, таким образом, может наступить начало схватывания.

С целью устранения вредного влияния температуры наружного воздуха можно производить изоляцию длинных трубопроводов.

Общее количество бетона, поданного насосами на этой стройке, составляло около 140 000 м³.

Распределение бетона из труб в отдельные воронки производилось с помощью сегментных затворов на боковых поверхностях трубопроводов (рис. 75).

Объем одного блока шлюзной стенки равнялся примерно 1000 м³. Уклон поверхности бетона составлял 1:7—1:8. На заполнение блока в среднем затрачивалось около 60 час.

Опыт этой работы представляет интерес и в другом отношении. Применяя метод вертикально перемещающейся трубы в комбинации с насосоподачей бетона, осуществили укладку бетона в блоки в одну операцию.

В области гидротехнического строительства вопросы получения монолитных блоков приобретают особую роль. Поэтому указанный прием может быть использован во всех тех случаях, когда необходима укладка бетона в блоки значительных размеров при большой высоте бетонирования. Применение этого метода дает возможность получать монолиты без швов и исключает опасность распада бетона, могущую возникнуть при укладке его обычным способом и большой высоте сооружения.

ГЛАВА IV

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВОПРОСАМ ПОДВОДНОГО БЕТОНИРОВАНИЯ

11. Опытные данные

При описании различных методов подводного бетонирования в отдельных случаях были приведены данные о составе и прочности получаемого бетона. В настоящей главе приводится материал, относящийся к специальному изучению этого вопроса в лабораторных условиях.

Опыты Дорожного управления штата Южной Каролины (США). Дорожным управлением штата Южной Каролины (США) была проведена серия опытов¹ по укладке под водой цилиндров размером 15 × 30 см. Образцы изготавливались под слоем воды высотой 60 см. Были применены два метода укладки: 1) с помощью трубы и 2) с помощью раскрывающегося ящика. В каждой серии опытов изготавливались насухо контрольные образцы для сравнения. Состав смеси 1 : 1,6 : 2,7 при максимальной крупности заполнителей около 20 мм. В верхнем ряду рис. 76 изображены 3 цилиндра, изготовленные с помощью ящика, наполненного насухо, затем погруженного на дно и раскрытого. Временное сопротивление на сжатие этих трех цилиндров в среднем составило 53,6% сопротивления образцов, изготовленных насухо. В среднем ряду рис. 76 показаны 3 образца, уложенные с помощью трубы диаметром 75 мм. Труба была сначала опущена в воду, а затем заполнена бетоном. Вымывание бетона произошло вследствие невозможности заполнения трубы сразу (как это случается часто на практике). В результате временное сопротивление этих образцов на сжатие составило только 9,1% сопротивления образцов, изготовленных насухо.

При изготовлении цилиндров, изображенных в нижнем ряду, труба была закрыта на конце и заполнена бетоном насухо. Затем

¹ Hampton, Test on methods of pouring underwater concrete, Engng N. Rec. № 1, 1934, v. 119.

она была погружена до дна и разгружена путем открывания крышки на нижнем конце. Среднее значение временного сопротивления этих трех образцов оказалось равным 77,6% временного сопротивления образцов, изготовленных насухо.

Опыты Массачусетского института технологии (США). Большая серия опытов была проведена в Massachusetts Institute of Technology.¹ Целью опытов по изучению подводного бетона было:

1. Наблюдение и сравнение поведения бетона, уложенного под водой: 1) с помощью трубы, перемещающейся только в вертикальном направлении («tremie method»), и 2) с помощью раскрывающихся ящиков («drop-bottom bucket method»).

2. Сравнение прочности бетона, уложенного по первому методу, с прочностью бетона, уложенного по обычному методу, насухо.

3. Нахождение наиболее пригодных смесей для подводного бетонирования в зависимости от: 1) гранулометрического состава заполнителей, 2) качества цемента и 3) удобообрабатываемости.

Программа опытов. Предварительные опыты включали изготовление около 60 стандартных цилиндров диаметром 30 см и 26 кубиков размером 25 × 25 см. Одна часть цилиндров была уложена под водой с помощью трубы, а другая часть изготовлена на воздухе по обычным правилам изготовления лабораторных образцов и использована для сравнения с образцами, изготовленными под водой. Кубики были изготовлены под водой с помощью трубы и раскрывающихся ящиков и использованы для сравнения обоих методов. Водоцементное отношение брали с таким расчетом, чтобы получить постоянную осадку конуса от 10 до 12,5 см. Расход цемента составлял 335 кг/м³. Процент песка в заполнителях был переменным, чтобы получить различную степень жесткости бетона. Модуль крупности равнялся 5,5; 5,1; 4,7.



Рис. 76. Образцы подводного бетона, уложенные различными методами.

¹ Andersen, A study of subaqueous concrete, Journal of the Amer. Concr. Inst. № 3, 1937, Jan.—Febr., v. 8.

В первом случае модуль имел наибольшее значение, во втором случае модуль был таким, который обычно применялся на практике, и в третьем случае применялись заполнители с явно преувеличенным содержанием песка.

В табл. 3 приведена характеристика гранулометрического состава заполнителей для всех трех случаев.

Таблица 3

Гранулометрический состав заполнителей

Размер сит мм	Крупные заполнители		Заполнители средней крупности		Заполнители с повышенным содержанием песка	
	частные остатки %	полные остатки %	частные остатки %	полные остатки %	частные остатки %	полные остатки %
19	11,2	11,2	9,7	9,7	8,0	8,0
9,5	39,2	50,4	33,9	43,6	28,0	36,0
4,75	13,6	64,0	12,9	56,5	12,1	48,1
2,38	8,6	72,6	9,0	65,5	9,3	57,4
1,19	5,2	77,8	6,6	72,1	8,0	65,4
0,59	4,2	82,0	5,4	77,5	6,6	72,0
0,297	8,7	90,7	11,0	88,5	13,5	85,5
0,149	6,8	97,5	8,6	97,1	10,6	96,1
Модуль крупности		5,462		5,105		4,685

Для каждого модуля крупности было изготовлено четыре кубика: два на обычном портланд-цементе и два других на быстротвердеющем цементе. Для дальнейших сравнений половина кубиков была изготовлена с помощью трубы и половина — с помощью раскрывающихся ящиков.

Вода, в которую погружался бетон, была только пресная, так как изучение физического явления при укладке подводного бетона считалось более важным, чем химическое действие воды.

Методика. Образцы подводного бетона изготавливались в стеклянном резервуаре, сквозь стенки которого предполагали наблюдать за процессом укладки. Бетон смешивался вручную. Контрольный цилиндр, равно как и образец, изготавливались под водой с помощью трубы из одного и того же замеса, что было необходимо для возможности сравнения метода трубы с методом раскрывающихся ящиков. Наблюдать за укладкой бетона сквозь стеклянные стенки резервуара удалось только при укладке бетона с помощью трубы, при укладке же бетона с помощью раскрывающихся ящиков обычно при открывании днища образовывалось облако мути от цемента, которое все скрывало.

Опытные образцы изготавливались в деревянных разборных формах, в которых и сохранялись под водой в течение 7 дней. По истечении этого срока опалубка снималась и образцы испытывались.

При укладке бетона с помощью трубы работа производилась следующим образом. Труба предварительно заполнялась полностью бетоном и затем погружалась в воду с закрытым концом. Когда бетон начинал вытекать из трубы, нижний конец ее держали погруженным в уже вылитую массу бетона. Это сводило к минимуму вымывание цемента из смеси.

При применении раскрывающихся ящиков последние заполнялись бетоном доверху и медленно погружались в воду. Открывание ящиков производилось лишь в тот момент, когда они вступали в соприкосновение с поверхностью уложенной массы бетона. Как показал опыт, невозможно вполне избежать вымывания цемента при открывании днища ящика. Кроме того при этом обычно образуется облако цементной мути.

Результаты. Опыты показали, что подводный бетон, даже в лучших образцах, обладает меньшей прочностью и, пожалуй, меньшей плотностью, чем бетон того же состава, уложенный на воздухе обычным способом. Подводный бетон, уложенный очень тщательно, дал сопротивление на сжатие, равное от 40 до 80% прочности бетона того же состава, но уложенного насухо, при этом наиболее прочный бетон был получен при более жирных смесях. На рис. 77 нанесены кривые, характеризующие сравнительную прочность 7-дневных и 28-дневных образцов, уложенных с помощью трубы.

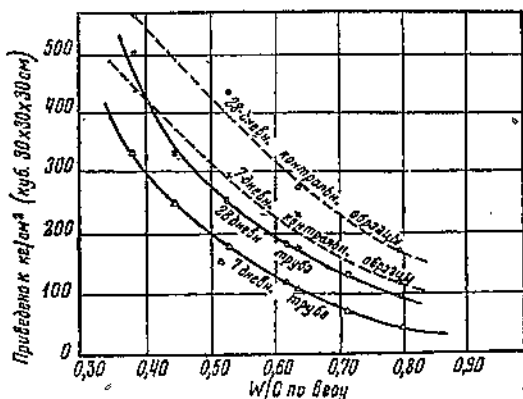


Рис. 77. Сравнительные кривые прочности подводного бетона в зависимости от водоцементного отношения.

Бетон, уложенный с помощью трубы, был в среднем на 17% прочнее, чем бетон того же состава, но уложенный с помощью раскрывающихся ящиков. Объясняется это тем, что при укладке бетона с помощью трубы процесс был подобен описанному выше при применении метода вертикально перемещающейся трубы и сопровождался меньшим вымыванием цемента из смеси, чем в случае укладки раскрывающимися ящиками. Зависимость между сопротивлением на сжатие кубиков размером 25×25 см и процентом содержания песка в заполнителях изображена графически на рис. 78. Заполнители с повышенным содержанием песка (модуль крупности 4,7) дали наивысшие цифры прочности подводного бетона для всех образцов. Заполнители с пониженным содержанием песка дали во всех случаях более низкую прочность бетона. Здесь обнаруживается различие по сравнению с обычными результатами для бетонов, уложен-

ных насухо. Типичная кривая прочности бетонов, уложенных насухо, показана на том же рисунке.

Повышенное содержание песка дало улучшение удобообработываемости бетона, уменьшение распада и снижение вымывания цемента из бетона при укладке под водой. При этом метод вертикально перемещающейся трубы дал значительно более высокие цифры прочности бетона, чем метод раскрывающихся ящиков.

Сорт цемента несомненно влияет на качество бетона. Так, например, быстротвердеющий цемент дал заметное повышение прочности образцов по сравнению с образцами, изготовленными на обыкновенном портланд-цементе. Для метода вертикально перемещающейся трубы увеличение прочности в этом случае составило в среднем 32%, а для метода раскрывающихся ящиков — 47%. Бетон, изготовленный на быстротвердеющем цементе, обладал большей вязкостью и пластичностью, чем бетон на обычном портланд-цементе. Это обеспечивало увеличение «связанности» частиц бетона при укладке под воду и уменьшение вымывания цемента. Во время опытов было установлено, что тщательно приготовленная смесь может быть полностью размыта при недостаточной тщательной укладке. Заполнители отделялись от цемента, который в виде шлама оседал на поверхности образца.

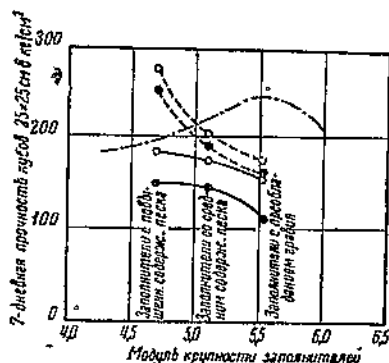


Рис. 78. Сравнительные кривые прочности подводного бетона в зависимости от модуля крупности заполнителей.

- — Бетон, уложенный с помощью трубы.
- — Бетон, уложенный с помощью раскрывающихся ящиков.
- — — Торговый портланд-цемент.
- — — Быстротвердеющий цемент.
- · — Обычные результаты для бетона, уложенного насухо (из других исследований).

Выводы. Выводы, сделанные из этих опытов, сводятся к следующему:

1. Прочность подводного бетона оказалась ниже прочности бетона того же состава, но уложенного насухо. Вообще говоря, большее различие было обнаружено между тощими смесями и смесями с высоким водоцементным отношением.

2. Бетонные смеси, которые для обычной укладки насухо содержат избыток песка, дают более прочный подводный бетон.

3. В среднем прочность подводного бетона, уложенного с помощью вертикально перемещающейся трубы, оказалась на 17% выше прочности бетона, уложенного с помощью раскрывающихся ящиков.

4. В случае применения быстротвердеющего цемента наблюдалось заметное повышение прочности подводного бетона по сравнению с бетоном на обыкновенном портланд-цементе.

5. При тщательном и умелом исполнении работы подводный

бетон может по своим качествам приближаться к бетону, изготовленному на воздухе.

Опыты, проведенные комиссией Шведского бетонного союза. Серия лабораторных опытов по подводному бетонированию была проведена специальной комиссией, учрежденной в 1918 г. Шведским бетонным союзом.¹ Опыты ставились с целью определения влияния метода производства работ, консистенции смеси, гранулометрического состава заполнителей и пропорции составных частей бетонной смеси на качество получаемого под водой бетона. Изучение велось путем сравнения получаемого под водой материала с образцами того же состава, изготовленными насухо.

Опыты были выполнены в деревянном резервуаре длиной 40 м, шириной и высотой 1,05 м. Глубина воды в резервуаре составляла 0,95 м. Уложенные на дно резервуара формы были различными способами заполнены под водой бетоном. Формы имели длину от 60 до 80 см, ширину 45 см и высоту 20 см. Для укладки был использован бетон следующего состава (по весу): 1 часть цемента и 4 части гравелистого песка; консистенция — текучая.² Заливка осуществлялась с помощью трубы диаметром 10 см, перемещающейся в двух направлениях, 2 раскрывающихся ящиков различного размера и открытого жолоба полукруглого сечения. С помощью трубы был уложен в три слоя образец толщиной 20 см. Опыты по укладке бетона с помощью вертикально перемещающейся трубы не производились.

Заполнители состояли из частиц, гранулометрический состав которых был подобран по кривой Фуллера. Наибольшая крупность заполнителей составляла 25 мм. Процент содержания мелочи в песке был несколько повышен по сравнению с обычным.

Добавка воды составляла 10,6% веса сухой смеси. После затвердения из образцов были выпилены кубики, которые и подверглись испытанию на раздавливание. Размеры кубиков $20 \times 20 \times 20$ см.

В результате этих опытов Комиссия пришла к следующему заключению:

1. Прочность укладываемого под водой бетона в гораздо большей степени зависит от консистенции бетона, гранулометрического состава заполнителей, пропорции составных частей и способа укладки, чем прочность бетона, укладываемого насухо.

Поэтому комиссия считает, что при расчетах для подводного бетона следует принимать большие запасы прочности.

2. Консистенция бетона должна быть достаточно текучей, но не слишком жидкой. Это является чрезвычайно важным обстоятельством для обеспечения равномерной подачи бетона.

3. Для того чтобы подводный бетон имел такую же прочность, как бетон, уложенный насухо, необходимо повышать содержание цемента в смеси.

¹ Betong Meddelanden fram Svenska Betonforeningen № 2, 1921 и № 2, 1922.

² Die Bautechnik № 8 и 10, 1930.

4. Процент мелкого материала в заполнителях должен быть для подводного бетона несколько большим, чем это получается по кривой Фуллера.

5. Не следует допускать образования шлама. Очень текучая консистенция бетона обуславливает образование шлама.

Цемент вымывается из бетона при погружении последнего в воду. Получаются скопления заполнителей, не связанных цементом, в то время как вымытый цемент образует на поверхности слой шлама. Шлам делит весь массив на слои, вследствие чего возникает опасность скольжения одного слоя по другому и разрушения массива.

6. Путем непрерывной подачи бетона образование шлама может быть задержано. При работе с помощью трубы этого удастся легче достичь, чем при укладке с помощью раскрывающихся ящиков.

Таким образом, можно считать доказанным лабораторными опытами, что прочность подводного бетона, вообще говоря, несколько ниже прочности бетона того же состава, уложенного насухо. Наиболее высокого качества получается подводный бетон, уложенный по методу вертикально перемещающейся трубы; затем идет бетон, получаемый путем укладки с помощью трубы, перемещающейся в двух направлениях, и далее бетон, уложенный с помощью раскрывающихся ящиков. Это заставляет рекомендовать метод вертикально перемещающейся трубы. При работе на значительных глубинах, как, например, при возведении опор моста Сан-Франциско — Окленд, практика показала приемлемость метода раскрывающихся ящиков.

12. О подборе бетона для подводного бетонирования

Как видно из изложенного, для возведения бетонных сооружений под водой применяются самые разнообразные бетонные смеси; они зависят от применяемого метода укладки. Этот ряд смесей начинается с сухой смеси, укладываемой без добавки воды, непосредственно в воду. Воду, необходимую для гидратации цемента, бетонная смесь поглощает из окружающей ее жидкой среды. Таковы, например, смеси, применяемые при укладке бетона отвалом от берега или методом втрамбовывания бетонной смеси в массу уже уложенного бетона. Например, при сооружении мола в военной гавани на острове Гельголанд, где работа производилась путем постепенного отвала бетона от берега, применялась почти совершенно сухая смесь цемента, песка и гравия. Смесь смачивалась водой лишь настолько, «чтобы цемент не пылился». Состав смеси (по объему): 1 часть цемента на 3 части заполнителей. Производилась также добавка трасса в количестве, равном $\frac{1}{3}$ объема цемента; возможно также применение быстротвердеющих цементов, что удобно с точки зрения производства работ в условиях волнения, так как даже небольшая волна оказывает действие на поверхность еще не окрепшего бетона и размывает его. Что касается прочности бетона, полу-

чаемого этим приемом, то есть основания ожидать сравнительно низких значений водоцементного фактора и, как следствие, повышенной прочности. Следует, конечно, обратить внимание на тщательное перемешивание бетонной смеси до ее погружения в воду, в противном случае нельзя ожидать надежного связывания заполнителей между собой. Подбор бетона в этом случае ничем по существу не будет отличаться от подбора обычного трамбованного бетона с несколько повышенным расходом цемента.

Применяя метод укладки бетона под водой в мешках, мы сталкиваемся с двумя разновидностями: наполнение мешков сухой или увлажненной бетонной смесью.

Например, при постройке южного мола Абердинского волнолома (Англия) для наполнения мешков был использован жидкий бетон. В другом случае, при сооружении мола на острове Гельголанд, для наполнения мешков применялась почти сухая смесь. Выше мы уже говорили о большей простоте работы с сухой или слегка увлажненной смесью. Поэтому, считая более рациональным применение слегка увлажненной смеси для наполнения мешков, можно в отношении подбора бетонной смеси повторить сказанное по поводу подбора бетона для непосредственного отвала в воду. Подбор бетона в этом случае ничем не отличается от подбора трамбованного бетона для работ на воздухе.

Переходим к бетонным смесям для бетонирования с помощью раскрывающихся ящиков, опрокидных бадей и опорожняющихся мешков. Здесь, с одной стороны, имеются примеры применения землисто-влажного бетона (трамбованного), с другой стороны — пластичного бетона. Литой бетон, как правило, в этих случаях не применяется. Из перечисленных трех разновидностей одного и того же по существу метода частичного изолирования бетона при его перемещении сквозь толщу воды сохранил еще свое значение в практике производства подводных бетонных работ метод раскрывающихся ящиков. Правда, область применения его весьма ограничена, но все же для больших глубин он применяется и по настоящее время. Не имеет смысла касаться вопроса подбора бетона для двух других разновидностей — бадей и мешков, — ибо способы эти следует считать устаревшими и потерявшими всякое значение.

В отношении подбора бетона для работ с помощью раскрывающихся ящиков весьма интересен опыт строительства опор моста Сан-Франциско — Окленд, описанный выше. В этом случае был применен пластичный бетон. К такому пластичному бетону предъявляются более жесткие требования в отношении «связанности» бетона и наличия хорошей подвижности. Легкость, с которой укладывался бетон, и однородность получаемого под водой материала оправдывали некоторый перерасход цемента.

В табл. 4 приведен гранулометрический состав заполнителей для бетона в фундаментных частях опор.¹

¹ T. S. Stanton, Journal of the Amer. Concr. Inst. № 1, 1935, v. 7.

Таблица 4

Диаметр отверстий мм	75	62	50	37	18	5	2	1	0,6	0,3	0,12	0,07
Прошло сквозь сито 0/0	100	95—100	83—90	72—83	55—70	30—40	18—27	10—18	6—12	3—8	0—4	0—2

Вообще говоря, заполнители, использованные для приготовления бетона, содержали около 25% частиц крупнее 37 мм. Частицы крупнее 25 мм в среднем составляли около 35% всех заполнителей.

Как показал опыт, избыток воздуха в бетоне крайне нежелателен при подводном бетонировании, так как пузырьки воздуха, выходящие на поверхность воды, вызывают турбулентцию и ухудшение качества бетона.

В выбранной смеси избыток воды показывался на поверхности бетона во время вибрации и исчезал после ее прекращения.

Особое внимание было уделено содержанию мелочи в песке. Практически было отмечено большое влияние на качество бетона даже сравнительно небольших количеств мелких фракций песка.

Для получения надлежащего гранулометрического состава песок был фракционирован и смешение его производилось в особых смесителях, наполненных водой.

Как указывалось выше, бетон через 28 дней имел прочность порядка 350 кг/см². Цифра временного сопротивления сжатию получена была достаточно высокой, что говорит в пользу подобранного бетона. Мы не считаем возможным делать обобщающие заключения на опыте этого примера, однако рассмотрение подобного рода примеров убеждает в том, что пропорция песка и гравия, повидимому, должна быть близка к отношению 1:1, т. е. должен применяться бетон с несколько повышенным содержанием песка.

Главное внимание при подборе бетона на строительстве моста Сан-Франциско — Оклэнд было уделено удобообрабатываемости бетона.

Частицы заполнителей, прошедшие сито 9,5 мм ($3/8$ ") и оставшиеся на сите 4,76 мм ($3/16$ "), по возможности отбрасывались. Особое внимание было уделено тому, чтобы песок содержал около 30% частиц, прошедших сито 0,6 мм (№ 30). Следует заметить, что заполнители для приготовления бетона доставлялись из целого ряда карьеров, вследствие чего значительно возрастали трудности правильной дозировки их при замесе. С другой стороны, имелась возможность довольно широкого варьирования количества отдельных фракций или групп фракций. По этой причине бетонные смеси, использованные на работах по строительству моста, были спроектированы так, что можно было

менять соотношение отдельных групп заполнителей различной крупности, не меняя водоцементного отношения.

Качество такого бетона, уложенного под водой с помощью раскрывающихся ящиков, получилось очень высокое. Используя бетон с расходом цемента 335 кг/м^3 при осадке конуса от 12 до 15 см, которая была обусловлена необходимостью иметь достаточно пластичный бетон, способный хорошо заполнять опалубку, оказалось возможным получить временное сопротивление через 60 дней порядка 400 кг/см^2 . Цифры эти были получены путем испытания образцов, взятых из массы бетона, уложенной под водой в быке W-2 и быке W-6, после осушения кессонов.

Образцы были изготовлены после удаления слоя шлама толщиной около 5 см.

Ниже приводятся данные временного сопротивления образцов.

1. Образцы подводного бетона при расходе цемента 335 кг/м^3 из верхних слоев быка W-2:

Прочность через 10 дней	191 кг/см^2
" " 34 "	340 "
" " 60 "	412 "

2. Образцы подводного бетона при расходе цемента 335 кг/м^3 из нижних слоев в быке W-6:

Средняя прочность ¹ через 34 дня 377 кг/см^2 .

Подводный бетон быка номер W-2 был уложен на подстилающей скале (очищенной от наносов) на средней глубине около 30 м. Работа произведена в одну непрерывную операцию до глубины около 3,6 м ниже горизонта воды. Таким образом, высота бетонирования под водой составила около 26,5 м. После откачки воды поверхность бетона оказалась покрытой слоем цементного шлама толщиной в несколько сантиметров.

Выше, в описании этой работы упоминалось о температурных изменениях в массе подводного бетона. На рис. 79 и 80 приводятся более подробные данные, могущие иллюстрировать температурные явления, сопровождающие процесс твердения подводного бетона.

Заканчивая этим рассмотрение вопроса о подборе бетона для бетонирования под водой с помощью раскрывающихся ящиков, переходим к вопросу о подборе бетона для бетонирования с помощью труб.

В случае применения трубы, перемещающейся в двух направлениях, подводное бетонирование состоит по существу в отсыпке бетона под водой. Для работы может применяться как

¹ Весь бетон уложен под водой с помощью раскрывающихся ящиков. Цифры временного сопротивления на сжатие получены пересчетом временного сопротивления цилиндров размером $150 \times 300 \text{ мм}$ и приведены к временному сопротивлению кубиков размером $30 \times 30 \times 30 \text{ см}$ (см. Мак-Милан, Основные принципы приготовления бетона, стр. 133, ОНТИ, 1935).

трамбованный, так и пластичный бетон. При описании этого метода мы указывали его недостатки; они столь значительны, что в настоящее время от этого метода повсеместно отказываются. Даже при тщательном и умелом производстве работ по этому методу неизбежно образование слоев, могущих повлечь за собой разрушение сооружения. Поэтому, не разбирая вопрос о подборе бетона для названного метода, переходим к вопросу о подборе бетона для бетонирования с помощью трубы, перемещающейся только в вертикальном направлении.

На ряде примеров мы уже показали, что применяемый для этого метода бетон является литым ($S \approx 18$ см).

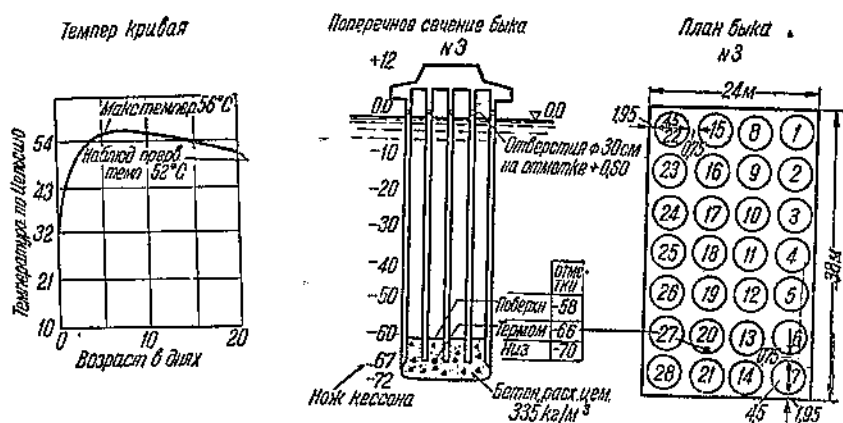


Рис. 79. Схематический чертеж оболочки быка № 3 моста Сан-Франциско—Оклэнд и кривая температуры подводящего бетона.

Температура воды	$^{\circ}\text{C}$
Снаружи кессона	15,8
Внутри колодцев перед бетонированием (средняя по высоте)	16,1
Внутри колодцев после укладки бетона	17,2
Поверхность бетона	18,3

Так же как и в способе раскрывающихся ящиков, к литому бетону предъявляются довольно тяжелые требования, обусловленные спецификой подводного бетонирования: «связанность» бетона, т. е. отсутствие тенденции к распадению, подвижность бетона, т. е. способность его заполнять все уголки опалубки, и, наконец, целый ряд требований, которые обычно предъявляются к бетону (прочность, водонепроницаемость и проч.).

Вообще говоря, эти требования могут быть предъявлены и к бетону, укладываемому на воздухе, однако в случае подводного бетонирования жесткость в отношении выполнения их должна быть повышена, так как отдельные факторы, могущие сравнительно мало влиять на качество бетона при укладке насухо, под водой могут приобрести решающее значение.

Итак, вопрос подбора бетона для бетонирования под водой по методу вертикально перемещающейся трубы есть, по существу, вопрос подбора литого бетона. С современной точки зре-

ния основой качества бетона является цементное тесто, т. е. смесь цемента и воды.¹

Отсылая читателей к специальным трудам по вопросам подбора состава бетона, мы ограничимся здесь изложением принципов получения литых бетонов и приемов, которые могут обеспечить однородность бетонной смеси при ее транспорте и укладке в сооружение. Так как качество бетона в основном определяется качеством цементного теста, получение литого бетона основано на добавлении к цементному тесту некоторого избытка воды. По исследованиям ряда авторов, цемент химически связывает воду в количестве около 12—15% от своего

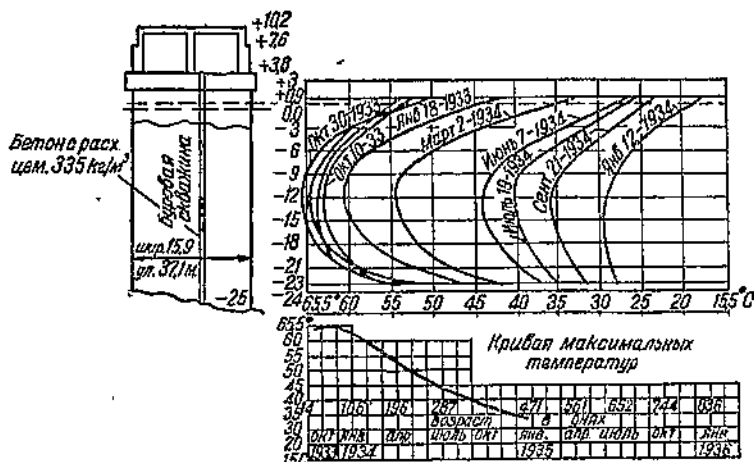


Рис. 80. Кривая температуры подводного бетона быка № 2 моста, Сан-Франциско — Окленд.

Примечание. Температура измерялась путем погружения термометра в буровую скважину, расположенную примерно в центре блока. Скважина была заполнена водой.

веса. В цементном тесте литого бетона процент содержания воды больше, чем требуется для химического соединения; он должен быть не ниже 36%, чтобы смесь была еще текучей.² Это излишнее количество воды отражается на качестве получаемого бетона. Бетон получается пористым, прочность его падает с увеличением процента содержания воды в цементном тесте по известному закону Абрамса. Таким образом, идя на сознательное понижение прочности бетона, можно достигнуть необходимой текучести его путем применения более жидкого цементного теста, заполняющего все пустоты между заполнителями и играющего роль смазки, уменьшающей трение между отдельными частицами заполнителей при их перемещении. Заполнители в этом случае оказываются как бы взвешенными в це-

¹ Мак-Миллан, Основные принципы приготовления бетона, ОНТИ, 1935.

² П. Гайза, Литой бетон и его применение в строительстве, ГИЗ, 1929. Перевод инж. П. И. Глузге.

ментном тесте. Отсюда ясно, что подвижность и текучесть бетонной смеси при прочих равных условиях, должна зависеть и от вида поверхности частиц заполнителей. Применяя частицы с округленными краями, легче достичь нужной текучести, чем при частицах с острыми краями (например, заполнители, полученные путем искусственного дробления камня). Поэтому при подборе литого бетона для подводного бетонирования следует применять естественный гравий; нельзя рекомендовать применение щебня в качестве крупных заполнителей. Для получения той же текучести в случае применения заполнителей с острыми краями потребуется большее количество цементного теста.

Для увеличения текучести бетонной массы при заданной прочности нельзя идти по пути увеличения добавки воды к цементному тесту, а следует увеличить количество цементного теста. Текучесть бетона может быть также увеличена путем добавки «муки», имея в виду под этим наименованием заполнители с зернами мельче 0,2 мм.¹

Гранулометрический состав заполнителей влияет также на текучесть бетонной смеси. Зерна заполнителей различной крупности, interfерируя между собой при движении бетона, могут оказывать различное сопротивление передвижению смеси. Подбор заполнителей в отношении гранулометрического состава должен быть произведен по принятым кривым просеивания. При описании постройки мола указывалось, что в Швеции² придают определенное значение наличию крупных заполнителей (крупнее 30 мм) в бетонной смеси. Считается, что определенный процент этих крупных добавок создает нужную консистенцию бетона. Роль крупных добавок в этом случае может быть рассматриваема как фактор, позволяющий в известных пределах уменьшать добавку воды в бетонную смесь для получения той же текучести. Дело в том, что на смачивание заполнителей требуется определенное количество воды. Чем больше мелких заполнителей в смеси, тем больше потребуется воды для их смачивания. Так как поверхность частицы крупного размера всегда меньше, чем сумма поверхностей мелких частиц, которые можно получить дроблением этой крупной частицы, то количество воды, необходимое на смачивание поверхности заполнителей, будет, безусловно, во втором случае больше. С другой стороны, бетонные смеси с большим процентом крупных заполнителей весьма склонны к распадению. Смеси же, имеющие несколько повышенное содержание песка по сравнению с содержанием крупных заполнителей, не обнаруживают тенденции к распадению, но требуют больше воды для получения той же текучести. Нужно иметь в виду, что смеси с большим содержанием песка имеют ряд недостатков: увеличение по сравнению с обычным бетоном усадки бетонной смеси при ее твердении, уменьшение веса единицы объема бетона и увеличение воздушных пор в бетоне. Как видно из приведенных выше примеров подводного бе-

¹ См. сноску на стр. 7101,

тонирования, процент песка в заполнителях приближался к 50. Что касается сегрегации (водоотделения), то тенденцию к ней бетонной смеси можно наблюдать по тем явлениям, которыми сегрегация сопровождается.

Так, например, в серии опытов Американского военного департамента склонность бетона к сегрегации оценивалась на основе отделения воды, пошедшей на замес бетона (bleeding test).¹

Большое влияние на сегрегацию бетона оказывает процент содержания «мелочи» в песке, понимая под этим термином частицы мельче 0,15 мм.

Задача упомянутых опытов состояла в определении того, какими добавками и в каком количестве может быть заменена натуральная «мелочь» (< 0,15 мм) в песке. Обычные методы сравнения консистенции бетонов оказались непригодными, как не могущие ощутить изменения свойств бетона (в указанном отношении) при небольших изменениях содержания мелочи. В результате был принят метод, описанный ниже. В качестве исходных положений были установлены следующие:

1. Сегрегация бетона зависит от гранулометрического состава заполнителей.

2. Отделение воды в бетоне — прямой результат сегрегации. Водоцементное отношение было принято в опытах равным 0,823. Опыты проводились на заполнителях, гранулометрический состав которых приведен в табл. 5.²

Таблица 5

Отверстия сит мм	Частные остатки %	Полные остатки %	Отверстия сит мм	Частные остатки %	Полные остатки %
(№ 4) 50	4	4	(№ 30) 0,6	28	53
(№ 6) 25	9	13	(№ 50) 0,3	37	90
(№ 16) 1,25	12	25	(№ 100) 0,15	10	100

К заполнителям добавляли «мелочи» (песка < 0,15 мм), определяли отделение воды и производили сравнение с действием добавок различных веществ: вулканический пепел, различный кремнесодержащий материал, коллоидальная глина и проч. Подробный химический состав добавок и результаты опытов сточки зрения оценки их пригодности для замены натуральной мелочи см. Sprague (Journal of the Amer. Concr. Inst. № 1, 1937, v. 8).

Мы остановимся ниже только на описании техники производства испытаний.

Каждый опыт продолжался 3 часа, так как практически через 3 часа дальнейшее отделение воды прекращалось. Опыты производились в стальных цилиндрах емкостью 0,014 м³.

¹ J. C. Sprague, Evaluating fines in concrete on a bleeding test basis, Journal of the Amer. Concr. Inst., sept.—oct. 1936, p. 29.

² Такой состав заполнителей был выбран с целью приблизиться к наиболее употребительным в данном районе смесям.

Испытуемая смесь перемешивалась в течение 5 мин. Затем после укладки в цилиндр отстаивалась в течение 25 мин. Далее, столику, на котором были установлены цилиндры, сообщались вертикальные перемещения, 24 колебания в течение 24 сек. Избыток воды, выступивший на поверхности бетона, удалялся. Такая операция повторялась через определенные промежутки несколько раз в течение 3 час. Затем весь избыток воды взвешивался и определялся общий процент отделенной воды.

Путем сравнения количеств отделившейся воды удалось оценить влияние различных добавок на получение бетона, не склонного к сегрегации.

Заключение. Таким образом, при подборе бетона, не склонного к сегрегации в случае отсутствия естественной мелочи, можно идти по пути отыскания заменителей, могущих с успехом восполнить отсутствие нужных фракций песка. Эта замена, понятно, должна производиться с учетом прочности получаемого бетона.

Следует отметить, с другой стороны, что примененный в описанных опытах метод оценки сегрегации по количеству отделенной бетоном воды при отстаивании заслуживает особого внимания при подборе литого бетона для подводного бетонирования. Этот метод был применен при исследовании цементных растворов для заливки каменной наброски под водой в Центральном научно-исследовательском институте водного транспорта (Ленинград). Применение указанного метода на практике (см. раздел подводной бутовой кладки) дало хорошие результаты. Поэтому мы рекомендуем при подборе литого бетона для подводного бетонирования производить пробу на отстаивание бетонных смесей с целью сравнения их склонности к сегрегации. Консистенция бетона может измеряться конусом Абрамса. Ввиду сравнительно малой изученности вопроса о подборе бетона для подводного бетонирования, представляется затруднительным указать какие-либо окончательные цифры, характеризующие осадку конуса. Можно, однако, указать, что в одном из наблюдаемых нами случаев бетонирования, производившегося в довольно большом объеме, удобоукладываемый бетон был получен при осадке конуса порядка 18—20 см. При оценке пригодности бетона для подводного бетонирования следует обращать внимание не только на цифры, характеризующие осадку конуса, но и на равномерность распыливания конуса. Совершенно непригоден бетон, который, хотя и обладает большой осадкой конуса, однако, уже при снятии конуса распадается. После снятия конуса такой бетон оседает неравномерно: довольно плотная масса заполнителей остается в середине, а остальная часть стекает с боков в стороны. Бетон должен иметь вполне равномерное распределение заполнителей.

Таким образом, подвергая бетон испытанию на сегрегацию отстаиванием и определяя осадку конуса, можно довольно близко подойти к оценке пригодности бетона для подводного бетонирования с точки зрения его однородности и подвижности.

Изучение подвижности бетона возможно и путем определения скорости протекания определенных расстояний в заполненной трубе.

После выбора бетонной смеси желательно произвести пробное бетонирование опытных массивов под водой. Опытные массивы могут снабжаться различными выгородками, чтобы помешать растеканию бетона. Образцы бетона должны быть подвергнуты обычным испытаниям в различные сроки.

По окончании бетонирования желательно произвести исследование структуры бетона по всей толще уложенного массива. Это может быть выполнено путем бурения; с той же целью в теле сооружения оставляют специальные смотровые шахты.

Мы не касаемся здесь вопросов прочности и водонепроницаемости бетона, полученного с помощью подводного бетонирования по методу вертикально перемещающейся трубы, так как эти вопросы были нами освещены, на основании имеющихся данных, при описании отдельных примеров применения названного метода.

РАЗДЕЛ II

ПОДВОДНАЯ БУТОВАЯ КЛАДКА

ГЛАВА V

ОБЗОР РАЗВИТИЯ СПОСОБОВ ПОДВОДНОЙ БУТОВОЙ КЛАДКИ

13. Общие замечания

При осуществлении гидротехнических сооружений, а равно при реставрации и ремонте их, встречается надобность в выполнении каменных работ под водой, причем конструкции и стелени выполняемых под водой частей сооружений, так же как и при условии выполнения работ на воздухе, — различны. Иногда требуются прочность и конструкция железобетона, иногда бетона, а в некоторых случаях можно ограничиться прочностью бутовой кладки. Еще не так давно техника укладки бетона под водой, указывая те или иные способы осуществления такой работы, констатировала, что при всех методах укладки — погружение бетона в ящиках, бадьях или мешках, укладка бетона с помощью горизонтально перемещающихся вертикальных труб и проч. — бетон неизменно получался чрезвычайно низкого качества при полной неоднородности его прочности. Это продолжалось до тех пор, пока в основу подводного бетонирования не был положен принцип исключения возможности движения заполнителей бетона (главным образом, крупных — щебня или гравия) в свободной массе воды, куда выгружался бетон.

Из всех применявшихся ранее методов укладки бетона в воде с наибольшим успехом применялась (и применяется в настоящее время) кладка из слабо наполненных бетоном парусиновых мешков. Этот метод нельзя назвать полностью бетонной кладкой, так как в массе бетона остается парусина, тем не менее он дает вполне благоприятные результаты, ибо при нем невольно выдерживается принцип почти полного уничтожения возможности движения заполнителей бетона в свободной воде. Вред, наносимый движением крупных заполнителей бетона в свободной воде, сводится к тому, что при этом получается взмучивание массы бетона и, как результат этого, последующее отмучивание его составных частей, причем происходит почти полное распадение массы бетона и в корне нарушаются условия его схватывания и твердения.

Условия и методы подводного бетонирования при соблюдении вышеизложенного принципа подробно разбираются в раз-

деле I. В настоящем разделе рассматриваются исключительно метод и условия производства работ по осуществлению подводной бутовой кладки из булыжного или рваного камня. Такая кладка находит в настоящее время все более широкое применение.

Необходимо отметить, что бутовая кладка даже некоторыми специалистами понимается как кладка из постелистой плиты. Между тем в строительной практике бутовой называется кладка как из плиты, так и из булыжного или рваного камня (см. Статенко «Части зданий», ОГИЗ, 1930 г., стр. 130). При рассмотрении в настоящей книге вопроса о подводной бутовой кладке имеется в виду кладка исключительно из булыжных или рваных камней.

14. Краткий обзор развития и применения подводной бутовой кладки в СССР

Работы на Волховстрое и в Кронштадте. В бюллетене № 8 Волховской гидроэлектрической силовой установки (за 1926 г.) на стр. 177 дано следующее описание выполнения работ по облицовке флютбета у щитов Стоinea штучным гранитным камнем по шведскому методу.

«На бетонную подушку с выпущенными из нее железными стержнями насыпается слой щебня; на этот слой устанавливаются облицовочные камни. Сквозь швы между камнями пропускаются в щебень вертикальные газовые трубки. По окончании установки облицовочных камней вся облицовочная площадь заливается водой, которая заполняет все пустоты в щебне и в швах и таким образом вытесняет воздух. После этого через трубки начинают наливать цементный раствор (1 часть цемента и 1 часть песка), который, вытесняя, в свою очередь, воду, заполняет все пустоты в щебне и щели между камнями. Трубки постепенно поднимаются и, наконец, убираются совсем».

К этому описанию надо добавить пропущенное, хотя и понятное само по себе, пояснение: чтобы вода могла заполнить пустоты в щебне и в швах, вытеснить воздух, необходимо всю сложную систему швов и щелей достаточно плотно закрыть по периметру. Это достигается установкой плотной опалубки, равной высоте штучных камней, причем нижний край этой опалубки, примыкающий к бетонной подушке, уплотняется конопаткой.

При этом вполне убедительно выяснились следующие положения. тогда мало известные и вызывавшие сомнения.

1. При описанных условиях раствор состава 1:1, вытесняя воду, очень хорошо и плотно заполняет все даже самые мелкие пустоты.

2. Раствор, распространяясь в воде, не распадается и везде сохраняет первоначальное соотношение песка и цемента.

3. Получается вполне прочная и надежная структура.

Все эти положения хорошо были известны автору данного раздела книги, когда в 1929 г., руководя работами в Кронштадте-

ском порту, ему пришлось столкнуться с такой производственной задачей.

Требовалось исправить в гавани оградительную стенку. Стенка была сильно разрушена и ее пришлось разобрать полностью, до ряжевого основания. Прежние оградительные стенки порта строились с помощью деревянных понтонов. Чтобы избежать такой сложной и дорогой работы, было решено заготовить массивы высотой 1,8 м. Но и это оказалось весьма неудобно-исполнимо по тем причинам, что место для изготовления массивов и время для их выстаивания были крайне ограничены. Тогда, зная все, что относилось к подливке штучных камней при

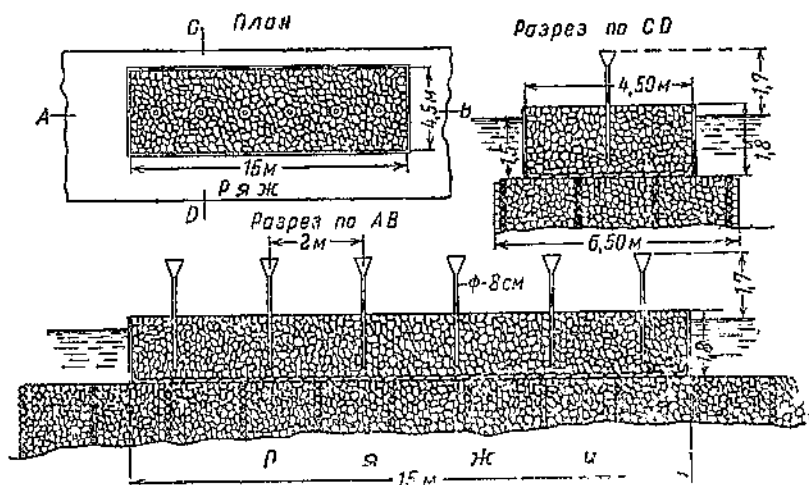


Рис. 81. Восстановление разрушенной оградительной стенки с помощью подводной бутовой кладки на ряжевом основании.

облицовке флютбета у щитов Стоinea на Волховской гидростанции, была использована принципиальная сторона этого способа, т. е. был предложен и выполнен следующий способ производства этой работы.

Поверхность заполняющего ряжи камня выравнивалась водолазами. На выровненную поверхность камня опускалась плотная из 6,5-см досок опалубка без дна длиной 15 м и шириной 4,5 м (рис. 81). Высота опалубки достигала 1,8 м, таким образом она возвышалась на 30 см над водой (разрезы АВ и СД). Чтобы опалубка не всплывала, по концам ее и в середине были уложены доски, на которые загружался камень. После установки опалубки на место вся поверхность ее внутренней площади по каменной засыпке ряжа выстилалась водолазами парусиновыми мешками, слабо наполненными бетоном (рис. 81 — план и разрезы АВ и СД). При этом особенное внимание было обращено на то, чтобы мешки с бетонной смесью в плане плотно перекрывали друг друга, а в нижних углах, где опалубка опирается на камни

ряжа, притрамбовывались с особой тщательностью. Надо оговориться, что при устройстве опалубки или при создании полостей, подлежащих заполнению подводной бутовой кладкой, нельзя допускать даже малейших щелей, соединяющих воду внутри опалубки или полости с внешней массой воды. Сквозь такие щели неизбежно будет уходить цемент и таким образом работа будет испорчена. Поэтому следует делать опалубки, так сказать, цементонепроницаемые.

Выстав площадь внутри опалубки мешками с бетоном, на дно опалубки осторожно засыпали два слоя некрупного (10—15 см) камня. Поверхности камня подравнивались водолазами и на насыпанный слой устанавливались в двух метрах одна от другой 10-см трубки, изготовленные из кровельного железа и снабженные наверху воронками (рис. 81 — план и разрезы АВ и CD). После установки трубок вся внутренность опалубки осторожно, чтобы не попортить трубок, заполнялась камнем. После этого через воронки по трубкам вливался раствор состава 1:2. Состав такой жирности оказался вполне приемлемым. Как увидим дальше, он очень близко подходил к составу, определенному впоследствии лабораторным путем. При вливании раствора можно было наблюдать вытеснение находящейся в пустотах камня воды. В конце концов на поверхности массива появился раствор. Несвязанные сначала между собой пятна через некоторое время слились и вся поверхность изготавливаемого массива покрылась выступившим снизу раствором. Раствор никаких признаков распада не обнаружил.

Через 28 дней опалубка была разобрана и массив осмотрен с поверхности и под водой при помощи водолазов. Массив имел прочные, совершенно гладкие поверхности стен и цельные кромки углов. На стенках массива, существующего до сих пор, не обнаружено никаких дефектов.

Одновременно в том же порту потребовалось срочно исправить-пристань (рис. 82). При осеннем ледоставе льдом и пристающими судами было повреждено ряжевое основание угла пристани, на котором помещался легкий поворотный кран. Венцы передней ряжевой стенки были выломаны (пунктир разреза АВ). Нижние ряды облицовочных гранитных камней были выворочены и находились у подошвы ряжа. Внутренняя каменная засыпка пристани высыпалась через образовавшийся пролом, но бетонный массив, на котором помещался кран, и выстилка из штучных гранитных камней площадки около крана оставались нетронутыми. Решение о необходимости срочного (до навигации, в течение зимы) исправления этой части пристани окончательно было принято только в январе месяце. Первоначально было предполагено выполнить эту работу следующим образом. Снять кран вместе с бетонным основанием под ним. Разобрать всю поврежденную угловую часть набережной (см. пунктир на плане) до ряжевого основания. Поднять при помощи водолазов вывалившиеся штучные и булыжные камни,

после чего уложить в зоне разрушенных ряжей новые штучные гранитные камни (1 и 2 на рис. 82). Восстановить гранитную облицовку, за которой сделать бутовую кладку частью на растворе, частью насухо. Затем сделать новое бетонное основание под кран и установить самый кран.

Так как до открытия навигации оставалось мало времени, а подводные работы по разборке, очистке и восстановлению нижней части пристани в зимнее время были чрезвычайно сложны

и трудоемки, автор настоящего труда предложил другой способ выполнения работы, который и был принят. С помощью водолазов около поврежденного угла пристани было очищено дно водоема от упавших штучных и булыжных камней. Поврежденные наружные стенки ряжей заложены временно бревнами и брусьями, скрепленными скобами, ершами и болтами, чтобы за исправленными стенками можно было засыпать булыжный камень до отметки нижней поверхности кладки штучных камней. После этого с помощью талей укладывались штучные камни облицовки. Непосредственно у торцов ряжей поврежденной части пристани устанавливались досчатые щиты, необходимые для засыпки песчаного слоя между ря-

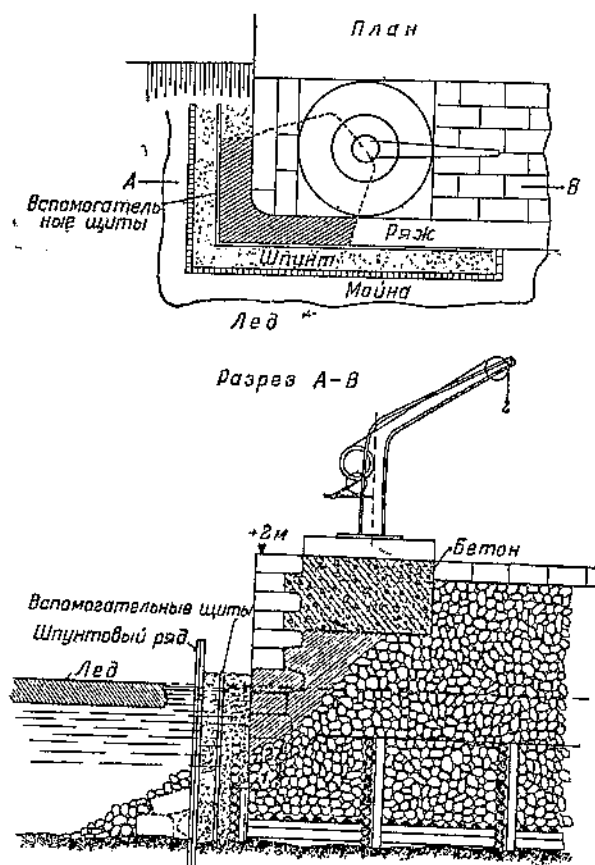


Рис. 82. Восстановление угловой части разрушенной пристани с помощью подводной бутовой кладки.

жами и брусчатым шпунтовым рядом, который забивался на расстоянии 30—35 см от щитов. Песчаный слой нужен был для того, чтобы раствор, которым предполагалось заполнить пустоты каменной наброски и швы между гранитными камнями облицовки, не мог уходить в воду. При плотной заделке поврежденных стенок ряжей можно было щитов не ставить. После укладки штучных камней, забивки шпунтовых рядов и заполнения песком

пространства между ними и стенкой набережной, была осторожно разобрана небольшая часть гранитной выстилки за основанием крана. Через разобранную часть выстилки также очень осторожно производилась выемка булыжного заполнения пристани с тем, чтобы через нее можно было пропустить гибкий шланг с железной 2" трубкой на конце для подачи раствора с целью заполнения пустот подводной части бутовой кладки. Заполнение производилось до тех пор, пока на поверхности каменной наброски не выступал цементный раствор.

При такой схеме работ заполнялась не только та часть бутовой кладки, которую следовало заполнить, но и часть бутового заполнения ряжей, которая могла бы оставаться и незаполненной раствором. Это обстоятельство послужило причиной большого перерасхода цемента: вместо запроектированных по смете 27 бочек для производства работ по первому способу, было израсходовано 129 бочек. Такой перерасход вынудил сделать сравнительное сметное исчисление полной стоимости работ по первому и второму способам, причем выяснилось, что, несмотря на перерасход цемента, стоимость выполнения работ по второму способу обошлась значительно дешевле, чем по первому. А главное — работа была выполнена в срок и результаты получились вполне хорошие.

Справедливость требует заметить, что результаты других работ, выполненных в то же время по этому методу, не всегда были удовлетворительными. Причины неудач в настоящее время, после детального изучения этого вопроса, становятся вполне понятными. Основной причиной было совершенно неправильное представление о том, что при заливке раствора надо иметь возможно больший напор. Как будет видно из дальнейшего, этого во всех случаях следует избегать.

Результаты вышеописанных работ убедили в целесообразности примененного метода производства подводной бутовой кладки и в то же время показали, что необходимо дальнейшее теоретическое изучение этого метода.

Постройка скиповой ямы домны Азовстали. Краткое описание производства этой работы помещено в журнале Строительная Промышленность (за 1934 г.) № 4. Приводим выдержку, касающуюся производившихся на строительстве опытов и порядка выполнения работ.

«Для производства опытов был взят новороссийский цемент с активностью 275 кг/см^2 ; состав по объему 1:1:3,5; щебень со средней крупностью 50 мм и песок овражный мелкозернистый с модулем крупности 1,5.

Опыты производились в ящике размером $200 \times 200 \times 75 \text{ см}$, который наполнялся водой и засыпался щебнем слоем в 50 см (рис. 83). Нагнетательные трубки были взяты диаметром $1\frac{3}{4}$ ", высота нагнетания в среднем 5,5 м; трубки не доходили до дна на 10 см; для регулирования скорости протекания раствора был поставлен кран. Водоцементное отношение было взято равным 0,6, что дало достаточно текучую смесь.

Полученные результаты опытов можно суммировать следующим образом:

1. Качество вполне удовлетворительное, бетон получился однородной массы и при простукивании молотком давал характерный для хорошего бетона звук.

2. Раствор стремился распространиться по щебню в вертикальном направлении, так как встречал меньшее сопротивление, чем в горизонтальном.

3. Максимальное количество подаваемого раствора при указанных выше данных — 150 л/мин.

4. Средний угол наклона конического массива согласно рис. 83 получен равным 25° и остается постоянным независимо от высоты нагнетания раствора.

5. Минимальный угол растекания при употреблении чистого цементного раствора получен равным 12° .

Результаты произведенных опытов показали невозможность применения открытого метода бетонирования для скиповой ямы «восходящим» раствором; поэтому по предложению инж. Лотоцкого была поставлена вторая серия лабораторных опытов с покрытием щебня железными листами.

В ящик сечением $b = 50$ см, $h = 100$ см и длиной 5,88 м щебень насыпался слоем 55 см и покрывался железными листами толщиной 12 мм. После этого ящик наполнялся водой; все щели между листами и стенками ящика забивались брусками.

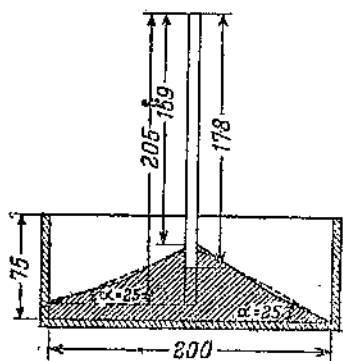


Рис. 83. Опыт подводного бетонирования в ящике при постройке скиповой ямы Азовстали.

Получились следующие результаты:

1. Качество бетона вполне удовлетворительное.

2. Механическая прочность немного падает по мере удаления от центра трубки, но вследствие очень незначительной величины практического значения не имеет.

3. За радиус распространения раствора можно взять величину, равную $\frac{2}{3} h$, где h — расстояние от горизонта воды до центра наполняемой раствором трубки.

4. Механическое испытание бетонных кубиков при подводном бетонировании¹ показало следующее: кубики размером $20 \times 20 \times 20$ см при составе бетона по объему $1:1:3,5$ и активности цемента 275 кг/см^2 дали временное сопротивление через 43 дня, в среднем равное $87,16 \text{ кг/см}^2$, а через 61 день — $89,75 \text{ кг/см}^2$.

Необходимо указать, что прочность бетонного массива, безусловно, должна быть выше прочности образцов. (Такого кате-

¹ Этот способ производства работ автор настоящего труда называет подводной бутровой кладкой, а не подводным бетонированием.

горического утверждения, конечно, делать нельзя. *Примечание автора*).

На основании полученных лабораторных данных строительство сочло возможным бетонирование днища колодца произвести «восходящим» раствором, что и явилось последним этапом в проектировании организации производства работ по опускному колодцу.

По разработанному проекту нагнетательные трубки диаметром $1\frac{3}{4}$ " устанавливаются в продольном направлении на расстоянии 3,32 м и в поперечном — 2,47 м. Таким образом, максимальное расстояние между двумя трубками равно 4,14 м, что при принятой высоте нагнетания 6,0 м должно гарантировать проникновение раствора в наиболее удаленные пустоты щебня. Ход работ, согласно разработанному проекту, разбит на следующие 4 этапа.

I этап. После опускания колодца с выемкой грунта грейфером, подравнивания и выверки дна водолазом в поперечном направлении колодец перекрывается пятью двутавровыми балками № 26, устраивается временный деревянный настил, затем опускаются нагнетательные трубки с таким расчетом, чтобы нижний их конец не доходил до днища на 10 см.

Для жесткой фиксации принятого в плане расстояния между трубками они связываются в нижних концах жесткой сеткой.

II этап. По временному деревянному настилу развозится тачками щебень, который ссыпается на разбитые в плане квадраты в определенном для каждого квадрата количестве; объем ссыпаемого щебня подсчитывается по профилю, полученному после выравнивания водолазом днища колодца.

III этап. После засыпки щебня под двутавровыми балками вяжется арматура, и на пеньковых канатах, накрученных на 4" трубы, плавное опускается на дно; затем отсыпается сверху необходимое количество щебня. Далее, таким же образом опускается сваренное 12-мм листовое железо вместе с сальниками, надетыми на трубки и приваренными к железным листам.

Применение сальников вызвано тем, что по ходу бетонирования потребуется поднимание трубок вверх, которое в таком случае может быть произведено без перерыва работ.

Боковые поверхности, находящиеся под ножом, водолазы перекрывают железными листами; с помощью водолазов укладывается также и специально запроектированная боковая часть арматурного железа.

Ввиду того, что указанный железный лист получился слишком большого веса и требовал большого количества сварщиков, решено было его сделать сборным на болтах. Кроме того был разработан второй вариант — устройство деревянного листа. Он имел следующие преимущества:

1. Употребление менее дефицитного материала — дерева, которое после окончания работ теряет очень незначительный процент годности.

2. Устройством шпунта легче и лучше достигается полная не-

проницаемость, чем болтовыми соединениями; электросварку, как оказалось впоследствии, применить было невозможно.

3. Простота в производстве работ, легкость маневрирования с опускаемым деревянным щитом, благодаря его меньшему весу, возможность одновременного опускания боковых щитов, заходящих под нож колодца, с прикреплением их на петлях к основному щиту, вследствие чего стоимость водолазных работ ничтожна по сравнению с применением железного щита, где на долю водолазов падает тяжелая работа по укладке боковых листов.

IV этап. Бетонирование днища колодца производится «восходящим» раствором, наливаемым в желобки, прикрепленные к верху установленных трубок.»

Из приведенной выдержки видно, что порядок производства работ при постройке скиповой ямы домны Азовстали мало отвечает даже принципиальной стороне «метода восходящего раствора», так как щит, прикрывающий слой насыпанного для образования днища щебня, сквозь сальники которого были пропущены трубки для подачи цементного раствора, служил к образованию горизонтальной замкнутой полости и препятствовал восхождению раствора, заставляя его расходиться в горизонтальном направлении. Кроме того, здесь применялся цементно-песчаный раствор 1:1, заливавшийся по желобкам в нагнетательные трубки диаметром $1\frac{3}{4}$ " при напоре 6,0 м. Что касается применявшегося песка, то известно только, что пользовались овражным мелкозернистым песком с модулем крупности 1,4—1,5.

Если сравнить приведенное описание производства опытов и выполнения работ при постройке скиповой ямы с исследованиями и опытами, произведенными в лабораториях Свирьстроя и ЦНИИВТа в период 1934—1936 гг., то становятся вполне ясными недостатки и несовершенство работ при постройке скиповой ямы. Низкие величины временных сопротивлений образцов при активности цемента 275 кг/см^2 и расходе в 370 кг/м^3 порядка: для 43 дней — 87 кг/см^2 и для 61 дня — 89 кг/см^2 объясняются недостаточным в то время знанием дела.

В самом деле, при выполнении этой работы строители не применили полностью ни принципов метода «восходящей» цементной заливки (см. § 15), ни правил изготовления подвальной бутовой кладки.

При выполнении работ по первому методу, т. е. при применении в качестве заполнителей щебня, следовало бы заполнение производить цементным тестом определенной консистенции или цементным раствором с добавкой в том или ином виде каменной муки без песка крупных фракций. Такое заполнение производится под давлением в 1 ат.

При производстве работ по второму методу в качестве крупных заполнителей следовало применить камень без щебня и в таком случае заливка раствором (цемент и песок) должна производиться осторожно, при небольшом давлении, чтобы избежать возможности турбулентного движения, при котором

неизбежно взмучивание с последующим отмучиванием, т. е. распадение раствора.

Исследование вопроса о подводной бутовой кладке в лабораториях Свирьстроя. Более глубокое научно-исследовательское изучение рассматриваемого вопроса осуществлялось в лабораториях Свирьстроя при следующих условиях.

В 1934 и 1935 гг. при сооружении Верхне-Свирской гидростанции возникла надобность в постройке мощного — объемом до 40 000 м³ — раздельного быка Верхне-Свирской плотины. Шведская экспертиза выдвинула предложение о применении способа подводной бутовой кладки для выполнения этой части сооружения. Выполнение такой крупной по объему и ответственной по своему значению части сооружаемой плотины мало известным и неосвоенным способом, вполне естественно, вызвало правильное решение детального исследования, изучения и освоения всего этого вопроса в целом.

Распоряжением главного инженера строительства были организованы специальные лаборатории для производства всех необходимых исследований и опытов с целью определения возможности практического применения подводной бутовой кладки.

Произведенные опыты, исследования и полученные результаты с достаточной полнотой и ясностью изложены в статье проф. В. И. Дмитриевского, помещенной в IX выпуске журнала «Свирьстрой» за 1936 г., к которой мы и отсылаем желающих подробно ознакомиться с тем, что по этому вопросу было сделано.

К сожалению, в этом труде имеется только подробный перечень произведенных опытов по заливке массивов, и очень мало говорится о методике произведенных лабораторных работ, тогда как методика для практического развития вопроса имеет, по нашему мнению, очень большое значение. Кроме того, лабораторные работы в ЦНИИВТе, которые подробно будут рассмотрены ниже, имеют очень много общего с исследованиями Свирьстроя, и потому во избежание повторений мы ограничимся здесь только выдержкой из статьи проф. В. И. Дмитриевского, касающейся результатов, полученных в лабораториях Свирьстроя, которые имели значение как исходный материал при подробной проработке этого вопроса в ЦНИИВТе.

«Можно гарантировать для возведения ответственных гидротехнических сооружений вполне удовлетворительные качества монолитов, залитых под водой:

1) при употреблении состава раствора по весу: $C:S:W/c = 1:2,5:(0,80-0,90)$;

2) на смеси песков: $\frac{1}{3}$ д. о. и $\frac{2}{3}$ п. п. (в свирских условиях) или вообще на песке с гранулометрическим составом, близким к этой смеси (д. о. — девонские отмученные пески; п. п. — поргинские просеянные пески);

3) на портланд-цементе активностью 275 кг/см²;

4) при расходе цемента в 280 кг/м³ кладки.»

*

Как свирские опыты, так и опыты в ЦНИИВТе (см. гл. VI) производились с целью выяснения условий наилучшего заполнения пустот каменной наброски, погруженной в воду.

В описании опытов Свиристря говорится, что при изготовлении массивов «для загрузки форм применялся булыжный камень в поперечнике 10—20 см» (стр. 161). На этой же странице приводятся кривые растекания раствора (рис. 7) и говорится об «уклоне растекания раствора».

Если применить общепринятое понятие о бутовой кладке и бетоне для сооружений на воздухе к сооружениям под водой, то будет вполне понятно, что бетон и бут как в том, так и в другом случае совершенно разные и несравнимые по своему строению, свойствам, качествам и прочности материалы.

Как увидим ниже, понятия: «подводный бетон, подводное бетонирование методом восходящего раствора» и «подводная бутовая кладка» должны быть определены вполне точно, так как применение того или иного метода неодинаково и довольно точно определяется техническими и экономическими условиями и требованиями.

Широко поставленные и хорошо проведенные в лабораториях Свиристря опыты исследования вопроса изготовления подводной бутовой кладки дали очень ценные указания и выявили основные принципы, которые должны быть положены в основу правильного выполнения работ по изготовлению подводной бутовой кладки.

При производстве этих опытов, равно как и опытов ЦНИИВТа, было использовано предложение шведского профессора Гернелля о применении особых сеток с целью предохранения подводящих цемент трубок от зажима при наполнении форм камнем. Такая предохранительная сетка имеет поперечное сечение размерами 20 × 20 см и может изготавливаться из уголков, из арматурного железа и из деревянных реек, причем вертикальные стержни связываются горизонтальными хомутами. Такой предохранительной сетке присвоено наименование «шахты Гернелля». В описании опытов Свиристря это предложение называется «изобретением исключительной важности». Несомненно, применение такой сетки имеет очень большое значение в деле выполнения подводной бутовой кладки, но все же это не выходит за пределы обычных рационализаторских предложений, и справедливость требует заметить, что это предложение никак нельзя назвать «изобретением исключительной важности». Можно с полной уверенностью сказать, что если бы проф. Гернелль не внес этого предложения, его внес бы кто-нибудь из советских рабочих.

В конечном выводе описания произведенных в лабораториях Свиристря исследований и опытов говорится: «Самый процесс производства работ при методе «восходящего» раствора на данный момент является еще вопросом не разработанным, чему, кроме углубления лабораторных опытов, должно быть уделено в дальнейшем главное внимание, так как от хорошо проду-

манного в мельчайших деталях этого процесса зависит качество и успешное возведение подводным бетонированием сооружений».

15. Работы в Тауфкирхене¹

При выработке подъемной шахты в Тауфкирхене (Верхняя Австрия) был встречен очень сильный приток грунтовых вод. Борьба с ним потребовала бы применения исключительно сложных и дорогих приемов и оборудования, которыми строительство не располагало. Тогда, по словам авторов,¹ им удалось выполнить водонепроницаемую одежду фильтрующих стен шахты относительно простым и дешевым способом.

На дне открытой шахты, по нижнему краю ее стен, было сложено из кладки насухо кольцевое временное основание (рис. 84). По внешнему краю этого основания устанавливалась цилиндрическая облицовка из бетонных, скрепленных анкерами, камней. Облицовка устраивалась таким образом, чтобы между нею и поверхностью грунтовых фильтрующих стен шахты образовалось некоторое пространство, заполняемое щебнем. В этот промежуток, по мысли авторов упомянутой статьи, должен был подаваться особыми трубками раствор из чистого цемента.² Раствор должен был нагнетаться под давлением — сверху вниз, как показано на рис. 84 стрелкой. При этом должно было быть соблюдено еще одно условие, а именно: раствор должен был нагнетаться после того, как все пустоты щебня, заполняющего пространство между облицовкой и стенами шахты, будут заполнены водой. Совершенно ясно, что если бы при этом не было принято никаких мер к уплотнению швов между отдельными сложенными насухо камнями облицовки, то нагнетаемый в щебенчатую массу раствор должен был бы вытекать через швы внутрь шахты.

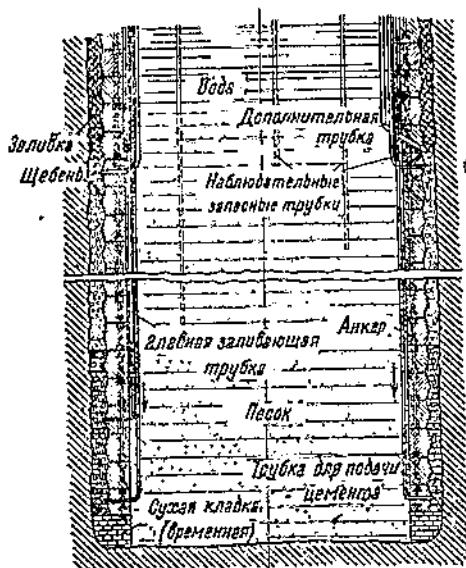


Рис. 84. Устройство водонепроницаемой одежды шахты методом восходящей цементной заливки.

¹ G. Schneiders u. A. Schneiders, Die Verwendung von aufsteigenden Zementguss, Der Bauingenier № 39/40, 1932.

² В дальнейшем раствор из чистого цемента без песка будет именоваться независимо от консистенции «цементным тестом».

Для того чтобы этого не было, вся внутренность шахты заполнялась песком. Такая мера оказалась, как и надо было ожидать, вполне целесообразной и достаточной.

Для полной уверенности в том, что пустоты помещенной между облицовкой и стенами шахты щебенчатой засыпки будут безусловно заполнены цементным тестом, кроме основных трубок, приводящих раствор в нижнюю часть щебенчатого заполнения, были применены еще вспомогательные трубки для наблюдения и добавочного наполнения цементным тестом, как это видно на рис. 84.

После заполнения пустот щебенчатой засыпки цементным тестом и твердения раствора, песок, заполнявший уплотнения швов облицовки шахты, был удален.

Успех выполненной таким образом работы, по свидетельству авторов, был полный. По всей внутренней поверхности шахты получилась совершенно водонепроницаемая оболочка толщиной около 40 см и шахта по всей высоте 65 см была осушена.

Вот, по существу, и все, что касается примененного в Тауфкирхене метода подводного бетонирования восходящей цементной заливкой. К этому следует добавить, что при применении для заполнения пустот в щебне чистого цемента в описанных выше условиях получался совершенно водонепроницаемый материал с плотным изломом, наподобие излома фарфора.

В дальнейшем изложении авторы рассматриваемой статьи, одобренные успехом выполненных работ, высказывают предположения о возможности применения этого метода в других случаях — для создания водонепроницаемых оболочек при осушении подвалов, для построения тоннелей, молот и проч. — описывают произведенные ими опыты и излагают выводы из них в виде основных правил при выполнении подобных работ.

Рассмотрение всех этих предположений и опытов станет яснее и проще, если теперь же, на основании приведенного выше описания производства работ, выделить принципиальные положения этого метода.

Первое из этих положений — создание замкнутой цементонепроницаемой полости.

Второе — заполнение выделенной полости щебнем или гравием.

Третье — заливка заполненной щебнем полости водою.

Четвертое — подача по трубам цементного теста снизу под давлением для заполнения всех пустот в щебеночной засыпке.

Эти основные положения авторы статьи детализируют следующим образом.

Диаметры применявшихся для подачи цемента трубок колебались от 1,5 до 2". Не следует употреблять слишком длинных трубок, так как может начаться схватывание первых порций введенного цементного теста.

При подаче цементного теста по трубкам должны быть выполнены два условия: 1) непрерывность подачи цементного теста

и 2) заполнение цементным тестом полного сечения подающих его трубок во все время подачи.

Несоблюдение этих условий служит причиной образования в массе цементного теста воздушных пузырьков, крайне вредных для прочности материала.

По опытам авторов, поднимающееся цементное тесто хорошо заполняет пустоты при крупности заполняющих материалов до 10 мм и избыточном давлении в 1 ат.

Принимая во внимание все приведенные выше положения, вытекающие из описания выполненных в Тауфкирхене работ, легко видеть, что там, по существу, были созданы условия обычной цементации искусственно образованной, замкнутой и заполненной щебнем полости цементным тестом под давлением, доходившим до 5 ат.

При такой постановке дела к этому способу вполне применим термин «бетонирования под водой», так как здесь был употреблен в качестве заполнителя обыкновенно используемый при бетонировании щебень. К этому способу в равной мере применимо определение восходящей цементной заливки (*aufsteigender Zementguss*), так как цементное тесто нагнелось снизу вверх. Термин «бетонирование под водой методом восходящей цементной заливки», вполне правильный и уместный в данном случае, был перенесен, очевидно, по недоразумению на изготовление подводной бутовой кладки, не имеющей ничего общего с описанным методом, если не считать того, что как в том, так и в другом случае заполнители насыпаются в воду предварительно. Но и в этом отношении имеется разница; заключается она в том, что при бетонировании методом восходящей цементной заливки заполнители состоят из щебня или гравия средней крупности, применяемого для обычного бетона, тогда как при подводной бутовой кладке употребляются камни размером 15—20 см в поперечнике.

Получив вполне удовлетворительные результаты по устройству вышеописанным методом водонепроницаемой одежды шахты, авторы в порядке предложения разбирают несколько примеров, где, по их мнению, может быть произведено подводное бетонирование методом восходящей цементной заливки. Так, например, для устройства водонепроницаемой одежды днища и стен сырых и наполняющихся водой подвалов приводится схема (рис. 85) и дается краткое описание выполнения работ.

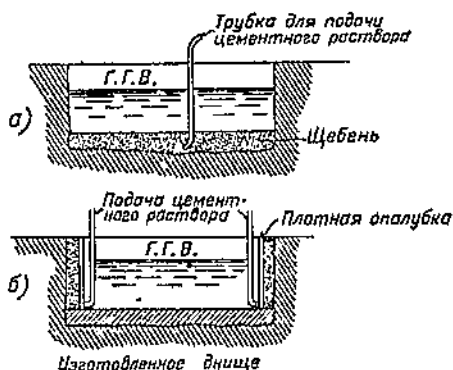


Рис. 85. Устройство водонепроницаемых: а) днища и б) стен.

Дальнейшей иллюстрацией возможности бетонирования методом восходящей цементной заливки служит, данная авторами той же статьи, схема устройства водонепроницаемой обделки стен овоидального тоннеля с помощью секторов пустотелых камней (рис. 86). Внешние полости между поверхностями пустотелых камней, равно как и самые полости этих камней, запол-

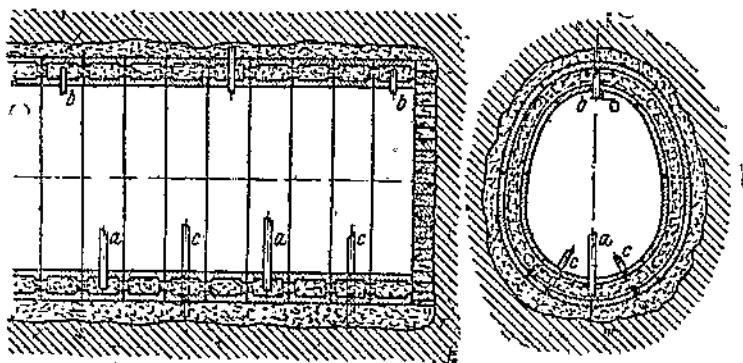


Рис. 86. Водонепроницаемая обделка стен тоннеля методом восходящей цементной заливки.

няются щебнем и затем цементируются. Цементный раствор трубками вводится в нижние мунштуки *a* и *c*, причем в самой высокой точке заполняемого раствором пространства вставляются особые вентили *b* для выпуска вытесняемых воды и воздуха.

Тот же метод предлагают авторы для заделки конечной части тоннеля (рис. 87). Из этого рисунка видно, что из пустотелых камней образуется перемычка с внутренней и внешней полостями, заполненными щебнем, пустоты между которым заполняются через мунштуки, расположенные в нижней части перемычки, восходящей цементной заливкой.

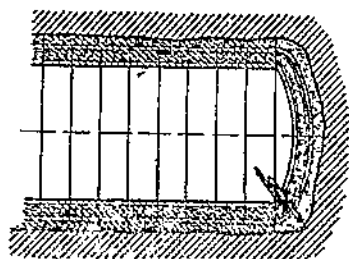


Рис. 87. Уплотнение замыкающего кольца у забоя деревянными креями.

В разбираемой статье особое внимание уделяется получению цементонепроницаемых условий при бетонировании под водой. Не всегда можно создать достаточно плотные опалубки, а иногда устройство их оказывается настолько сложным и дорогим, что теряются основные хорошие свойства этого метода — простота и дешевизна. В статье указываются довольно нереальные, на наш взгляд, методы получения ограждения цементируемой области обсыпкой песком под водой при помощи трубок. Такая — чисто отвлеченная — схема, выражающая только идею авторов, представлена на рис. 88. Авторы предлагают насыпать щебень, подлежащий цементированию, и песок

в качестве материала, не позволяющего вытекать нагнетаемому раствору одновременно через две трубки, причем песчаный слой должен ложиться на откос несколько ранее щебня. При текучей воде авторы рекомендуют присоединить еще третью трубку для подачи крупного материала (рис. 89). Назначение последнего — предохранять от размыва слой песка, необходимый для удержания цементного раствора. Указанные способы вряд ли можно признать реальными и практически выполнимыми, но пользоваться песком как материалом, отлично препятствующим вытеканию цементного теста или раствора, несомненно придется очень часто. Так, например, при гидротехнических сооружениях

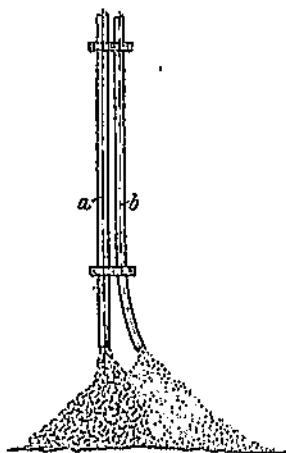


Рис. 88. Одновременная подача щебня и уплотняющего слоя песка в спокойной воде.

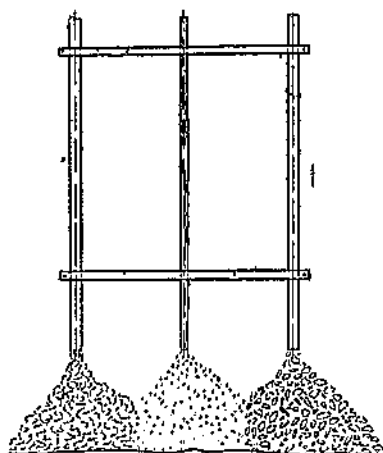


Рис. 89. Подача щебня, уплотняющего песка и каменной засыпки, предохраняющих песок от размыва в текучей воде.

часто применяются каменные подсыпки, при которых, кроме известной осадки грунта дна, получается еще осадка каменной наброски. Если бы такую подсыпку, с целью предохранения от размыва или для устранения упомянутой внутренней осадки, было решено заполнить раствором, т. е. обратить в сплошной монолит, то перед заполнением пустот раствором по откосу наброски можно было бы насыпать слой песка толщиной 25—30 см; такого слоя вполне достаточно для этой цели. Конечно, при выполнении последней работы, т. е. при обращении подводной насыпи в монолит путем заливки пустот в каменной наброске цементным раствором (с песком), работа была бы выполнена методом подводной бутовой кладки, а не восходящей цементной заливки. Однако роль песчаного слоя как в том, так и в другом случае — одна и та же.

Подводя экономическую базу для способа подводного бетонирования методом восходящей цементной заливки, авторы указывают на ряд моментов: 1) на отсутствие перемещения ма-

териалов, неизбежного при приготовлении бетона; 2) на отпадение необходимости перемешивания элементов бетона в однородную массу; 3) на отсутствие надзора за работами бетонного завода и т. д. В то же время авторы не могли не отметить того, что при этом способе требуется цементное тесто, т. е. раствор без песка. Для уменьшения расхода цемента авторы предлагают вводить в состав теста добавки; однако эти добавки должны быть однородными с зернами цемента, т. е. состав этой смеси ни в каких случаях не должен нарушаться и частицы добавок должны оставаться как бы постоянными спутниками частиц цемента.

Основной причиной нарушения в воде состава цементного раствора с песком является отмучивание; его нужно рассматривать как результат различных скоростей осаждения в воде частиц разных размеров и удельных весов. Для того чтобы избежать условий распада раствора, дается формула необходимой зависимости между размерами частиц и их удельными весами:

$$d : D = (E - 1) : (e - 1),$$

где d и D — диаметры частиц, входящих в смесь; e и E — соответственно — их удельные веса.

Из приведенного уравнения видно, что для получения одинаковых скоростей погружения частиц смеси, и, стало быть, для уничтожения явления отмучивания размеры частиц должны быть в обратном отношении к их удельным весам, т. е. зерна добавки каменной муки могут быть тем крупнее, чем они легче по сравнению с весом частиц цемента.

Эти результаты и выводы сходятся, между прочим, с результатами, полученными при исследовании того же вопроса в лабораториях Военно-инженерной академии в 1932 г., совершенно независимо от рассматриваемой статьи. Опыты производились со щебнем, из которого были отсеяны песчаные частицы размерами меньше 5 мм, причем в начале опытов был взят цементный раствор с песком. Для проведения опытов были изготовлены специальные стеклянные ящики, что позволяло вполне отчетливо наблюдать происходившее отмучивание и распад раствора. Только переход к добавкам, однородным с цементным порошком, дал удовлетворительные результаты.

Таким образом был получен вполне определенный вывод о необходимости применения цемента с добавками, исключаящими возможность распада раствора.

Приведенные выше примеры, конечно, далеко не исчерпывают всех возможностей применения метода восходящей цементной заливки. Этот метод, несомненно, найдет широкое применение в тех случаях, когда потребуются заполнение бетоном узких полостей сложной формы, например при подливке, закладных частей или при заливке полостей с включением арматуры. Во всех этих случаях замкнутые полости могут быть заполнены щебнем, чистой галькой или гравием, затем залиты водой, после чего будет производиться цементация заполнения

под давлением цементным тестом. При условии невозможности заполнения полости водой можно ограничиться предварительной тщательной промывкой водой цементируемого слоя, как это обычно практикуется при цементации.

ГЛАВА VI

ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАБОРАТОРИИ ЦНИИВТа

16. Общие цель и направление работ

Широко и полно проведенные в лабораториях Свирьстроя опыты и исследования по вопросу о подводном бетонировании фундаментов гидротехнических сооружений шведским способом («восходящего раствора») дали, по заключению самих авторов, неопределенный результат. В связи с этим перед Центральным научно-исследовательским институтом водного транспорта была поставлена очень трудная задача: не выходя из пределов лабораторных работ, разработать этот вопрос настолько, чтобы не оставалось никаких сомнений в полной возможности практического применения названного метода для получения прочных каменных монолитов под водой.

С этой целью решено было упростить самый вопрос и, для внесения ясности, разделить его на: 1) вопрос о подводном бетонировании, понимая под этим все методы укладки бетонной смеси под водой, начиная с подачи бадьями, до шведского способа «контрактор» (метод вертикально перемещающейся трубы) и 2) вопрос о выработке наилучшего метода, гарантирующего прочность выполнения подводной бутовой кладки, откинув совершенно несоответствующее название «бетонирование восходящим раствором». При этом нужно было выявить все детали и технические условия для выполнения подводной бутовой кладки.

Производство подводной бутовой кладки представляется элементарно простым (рис. 90). Плотная цементонепроницаемая опалубка или другое пространство, изолированное от общей массы воды, заполняется водой. В эту опалубку вставляется сетка — шахта Гернелля, предохраняющая трубку, приводящую раствор, от зажима камнем. Все внутреннее пространство опалубки заполняется камнем размерами в поперечнике

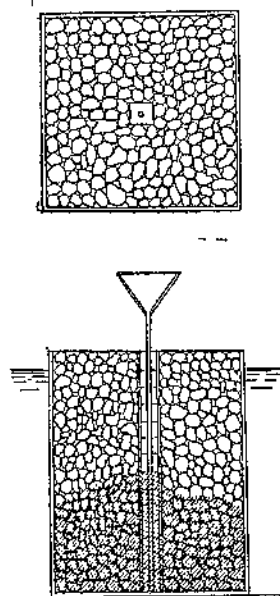


Рис. 90. Схема производства подводной бутовой кладки с применением шахты Гернелля. На рисунке показано растекание раствора, заполняющего пустоты каменной наброски.

от 10 до 25 см. Через воронку по трубе непрерывно вливается раствор, вытесняющий воду и заполняющий в первый момент пространство между трубой и сеткой. Оттуда раствор растекается в стороны по нисходящим своеобразным кривым депрессии, заполняя все пустоты (заштрихованная часть рисунка). При этом состав раствора не должен распадаться; раствор должен нормально твердеть и давать определенную прочность. Что же в таком случае должно служить предметом изучения? На этот вопрос может быть только один и вполне определенный ответ: изучать в данном случае нужно возможность получения цементных растворов определенных качеств и свойств. Эти растворы при движении в воде не должны изменять своего состава. Они должны возможно свободно растекаться, хорошо заполняя все пустоты. Наконец, нужно выявить все условия успешного заполнения пустот каменной наброски цементным раствором, т. е. скорость заполнения, величину необходимого напора, способы отражения пространства, заполняемого бутовой кладкой, от остального водного пространства, и проч.

Так совершенно четко был поставлен вопрос лабораторного изучения цементных растворов для заливки каменной наброски под водой.

Из изложенного выше и из рассмотрения схемы, изображенной на рис. 90, становится вполне ясным, что изучению и исследованию подлежат свойства и качества цементных растворов, заполняющих пустоты каменной наброски, исходя из тех основных условий и положений, которые необходимы для получения прочной и отвечающей своему назначению подводной бутовой кладки.

Основными условиями и положениями являются:

1. Изолирование от общей массы воды объема, подлежащего заполнению подводной бутовой кладкой.

2. Установка необходимой для выполнения работ аппаратуры.

3. Заполнение выделенного объема каменной наброской определенной крупности, составляющей неподвижный скелет подводной бутовой кладки.

4. Заполнение под водой пустот каменной наброски раствором.

Таким образом, основной, наиболее ответственной и интересной частью работы является изучение цементных растворов. Ознакомление с этой частью работы необходимо для уяснения и усвоения окончательных результатов и выводов.

При изучении растворов для данного специального случая были приняты два положения:

1. Раствор, наиболее пригодный для заливки каменной наброски под водой, должен быть, при различной жирности раствора, достаточно вязким и не подверженным быстрому распаду на составные части, причем наиболее приемлемым является раствор при расходе цемента порядка 270—280 кг/м³ бетона.

2. Раствор, наиболее пригодный для заливки каменной наброски под водой, должен быть, при различной жирности, достаточно подвижен; наиболее приемлемым является раствор при расходе цемента, указанном в п. 1.

В конечном результате всех исследований и опытов должно было быть дано решение задачи изыскания такого раствора или растворов, которые при указанных выше расходах цемента обладали бы одновременно двумя качествами: достаточной связностью и возможно большей подвижностью.

При этих исследованиях переменными величинами и факторами являлись:

1) гранулометрический состав песка, идущего для изготовления раствора;

2) жирность раствора, т. е. соотношение по весу цемента к песку;

3) водоцементное отношение (W/C).

Все перечисленные требования, свойства и качества как всего раствора в целом, так и каждой из его составных частей настолько тесно связаны между собой, что изучение их по отдельности не представляется возможным.

Поэтому исследования пришлось вести по совокупности всех величин и условий, меняя их взаимные отношения. В процессе опытов производились различные комбинации всех этих значений (жирности, гранулометрии, водоцементных отношений) и изучались связность и подвижность получаемых растворов.

17. Подбор песков определенного гранулометрического состава

Естественные пески чрезвычайно разнородны по своему гранулометрическому составу, причем модуль крупности, могущий иметь одно и то же значение при самых различных комбинациях фракций песка, не мог служить достаточным показателем, так как в данном случае можно было совершенно определенно предполагать исключительное значение добавки мелких фракций.

При исследовании свойств растворов необходимо было знать гранулометрический состав песков, чтобы уверенно относить изменения свойств растворов за счет изменений в составах песков. По аналогии с вопросами о бетонах и цементных растворах в отношении подбора состава и качеств песков принимались положения, высказанные Мак-Милланом в его книге «Основные принципы приготовления бетона». Так, на стр. 21 (изд. 1935 г.) сказано следующее: «Градация зерен инертных материалов влияет на пластичность бетонов, во-первых, вызывая различную потребность в количестве теста, необходимого для тщательного заполнения пустот и совершенного обволакивания частиц инертных материалов, во-вторых, оказывая различными комбинациями размеров зерен сопротивление подвижности бетонной массы».

По свидетельству того же автора (что по существу понятно и само по себе) видно, что на пластичность смеси (в данном случае раствора) влияет не только гранулометрический состав песка.

«Подобно гранулометрическому составу, форма и характер поверхности частиц оказывают влияние на пластичность смеси, вызывая различный расход теста и увеличивая или уменьшая трение, возникающее между частицами бетона в процессе укладки. Частицы угловатые и обладающие шероховатой поверхностью требуют для получения той же подвижности смеси большего количества теста, чем это необходимо для округленных или гладких частиц при прочих равных условиях».

На основании всего сказанного для опытов, как упоминалось выше, были приняты комбинации смеси из двух вполне определенных песков: крупного — k и мелкого — m .

Для крупного песка были приняты зерна не крупнее 3 мм; более крупные зерна отсеивались. Основанием для этого послужили, с одной стороны, априорное предположение, что более крупным частицам рас-

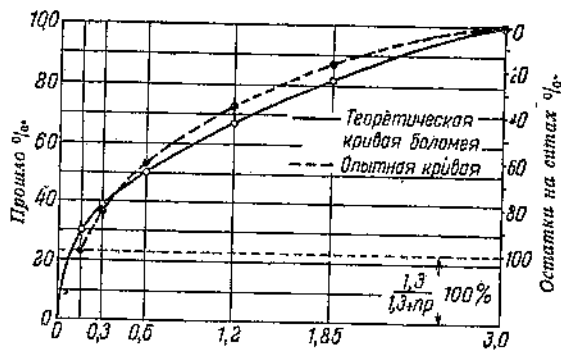


Рис. 91. Кривая Боломея и кривая гранулометрического состава, принятого для опытов.

твору труднее будет продвигаться по извилистым пустотам каменной кладки, в силу чего они могут выпадать (останавливаться) по пути распространения раствора, нарушая тем самым состав его, с другой стороны, проверка на опытах в лабораториях Свирьстроя целесообразности такого максимального размера зерна.

Для построения кривых просеивания песка было окончательно принято, что крупный песок не должен содержать зерен крупнее 3 мм и мельче 0,15 мм. Кривая просеивания крупного песка строилась, исходя из условия наибольшего приближения к установленной ОСТ кривой просеивания песка.

С этой целью были построены предельные кривые просеивания по ОСТ, равно как и кривая средних значений.

Выбор кривой для крупного песка был обусловлен следующими соображениями:

1. Желательно, чтобы большая часть кривой шла по линии средних значений.
2. Кривая должна по возможности иметь плавный вид при максимально близком совпадении с кривой средних значений.
3. Предельная крупность зерен песка 3,0 мм.

На рис. 91 показана кривая Боломея, построенная для проверки принятой гранулометрии. Эта кривая построена по формуле:

$$y = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d}{D}}, \quad (a)$$

где y — обозначает ординату построения кривой; A — коэффициент, величина которого выбирается в соответствии со следующими указаниями:

	Гравий и песок	Дробленый материал
Пластичный бетон	$A = 10$	$A = 12$
Литой бетон	$A = 12$	$A = 14$

d — соответствующую y абсциссу кривой просеивания — размер частиц данной фракции; D — размер наиболее крупных зерен в смеси (см. книгу проф. В. А. Кинд и С. Д. Окорокова «Строительные материалы», стр. 343).

Для решения формулы (а) приняты следующие значения: $A = 12$ и $D = 3$ мм.

Кривая Боломея дает гранулометрический состав смеси: цемент плюс заполнители; чтобы получить кривую только для заполнителей, нужно ось абсцисс передвинуть на величину, соответствующую содержанию в смеси цемента. Например, для состава бетона $1/1$ (в данном случае $1/2,5$) — при среднем насыпном весе заполнителя (песок) $p = 1,6$ кг/л, а цемента $1,3$ кг/л — ось абсцисс надо передвинуть вверх на величину $\frac{1,3}{1,3 + 1,6} 100\%$, для данного случая — на 24,53%, что и сделано при построении кривой (рис. 91).

На рис. 91 видно достаточно близкое совпадение кривых.

Так была выбрана исходная кривая для крупного песка и по ней составлены искусственные смеси; этим и определялся гранулометрический состав крупного песка.

При производстве опытов в лаборатории ЦНИИВТа было установлено одно чрезвычайно интересное и имевшее очень важное значение при изучении условий распада растворов явление. Известно, что после взмучивания различных по объему частиц в воде при отстое получается явление отмучивания, т. е. частицы осаждаются в определенном порядке в зависимости от их объемов и удельных весов. Такое явление, в несколько измененном виде, имеет место и в том случае, если в замкнутом пространстве отстаивается смесь различных по объему и составу частиц, при условии, что количество воды в смеси превышает объем пустот.

При опытах применяли стеклянные мерные цилиндры, в которые наливали исследуемые растворы. Уплотнение налитого в стеклянный цилиндр раствора при отстаивании начинается снизу, причем совершенно ясно можно наблюдать постепенно перемещающуюся снизу вверх плоскость, ниже которой все уже улеглось и успокоилось, а на границе и выше ее происходит очень интенсивное движение воды, идущей вверх, от наблюдаемой границы. Во время производства опытов при достаточно больших значениях водоцементного фактора подъем излишка воды происходил весьма бурно, с большими скоростями, и вода совершенно явно выносила с собой значительное количество цемента, образуя характерные следы движения воды.

Сначала это явление кажется странным, но при последующем наблюдении становится вполне ясным, что образование тока воды вверх вызывает постепенное уплотнение и осаждение вышерасположенных частиц песка и цемента; частицы эти, опускаясь, вытесняют воду. Восходящие токи воды подхватывают ближайшие частицы цемента и каменной муки и выносят их на поверхность раствора в цилиндре, где они и располагаются слоем определенной толщины; выше этого слоя собирается вытесненная, излишняя против объема пустот раствора, вода. Этот слой цемента при растворах определенных составов и определенных водоцементных факторов и служил показателем связности растворов.

Очевидно, что отмеченное явление может происходить в каждой точке, залитой раствором каменной наброски. Поэтому вполне естественно, что при достаточно больших значениях водоцементного фактора (W/C) и неподходящем гранулометрическом составе песка, т. е. при наличии большого количества пустот, у нижних поверхностей камней будут образовываться каверны, незаполненные цементным раствором (рис. 92).



Рис. 92. Сегрегация раствора в пустотах каменной наброски.

Если к раствору добавить мелкого песка столько, чтобы он заполнил, по возможности, все пустоты, то коэффициент фильтрации такого уплотненного слоя песка сильно снизится; выход частиц воды будет сильно стеснен и скорость их движения уменьшится настолько, что вынос частиц цемента почти вовсе прекратится. Произведенные в этом направлении опыты вполне подтвердили справедливость данного предположения: введение мелкого песка в надлежащем количестве улучшило в указанном смысле качество раствора. С другой стороны, качество раствора в смысле его продвижения несколько снижалось, что вполне понятно, так как мелкий песок требовал известного количества воды на смачивание. Смесь получалась более густой и мало подвижной. Для повышения подвижности требовалось увеличение W/C , что, в свою очередь, должно было неминуемо снизить механическую прочность раствора. В процессе опытов были найдены растворы, имеющие оптимальные значения подвижности, но в то же время они были достаточно связаны и не подвержены распадению.

18. Опыты в мерных цилиндрах; методика и результаты

Для испытания «связанности» растворов, т. е. для проверки способности этих растворов находиться продолжительное время

в виде равномерной смеси без распадаения, были применены стеклянные цилиндры емкостью 100 см³.

Цементный раствор для опытов приготавливался из 50 г цемента и соответствующего, в зависимости от жирности и W/C, количества песка и воды.

Перемешивание производилось в течение 3 мин., затем весь раствор выливался через стеклянную воронку в цилиндр. Цилиндр оставался в покойном положении на протяжении проводимого наблюдения; каждые 15 мин. замерялись толщина слоя воды на поверхности раствора и толщина слоя цемента, вынесенного водой (рис. 93).

Наблюдения показали, что уже через 1 час выделение воды прекращалось. Время, истекшее с момента заливки раствора в цилиндр, и было принято за время окончательного измерения слоя воды и слоя цемента наверху раствора.

Значения гранулометрического состава песков, применяемых для подводной бутовой кладки, исключительно важны для практического применения этого способа работ. Поэтому приводим полностью результаты испытаний в стеклянных цилиндрах растворов на связность в виде таблиц с соответствующими графическими изображениями. Подробный анализ этих результатов позволит легче разобраться в пригодности для подводной бутовой кладки тех песков, которые фактически будут иметься на месте работ, равно как и в решении вопроса о том, какие необходимы и возможны добавки для улучшения имеющегося песка, чтобы он стал пригоден для данной цели.

В табл. 6 приведена гранулометрия крупного песка, примененного для опытов.

На рис. 94 показаны кривые гранулометрического состава всех исследованных смесей песков.

Для полной уверенности в том, что полученные цифры не были случайными, опыты второй серии были проведены дважды для возможности сравнения получаемых результатов. Сходимость получилась вполне удовлетворительная, позволяющая достаточно точно характеризовать растворы с точки зрения их связности.

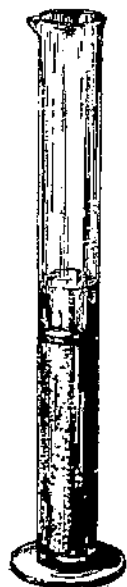


Рис. 93. Испытание связности растворов в стеклянных цилиндрах.

Таблица 6

Размер отв. сит мм	5,0	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15
Частн. остат. %	0	6,4	29,36	17,63	29,36	17,25
Полн. ост. %	0	6,4	35,76	53,39	82,75	100,0

Примечание. Табл. 6 касается только „крупного“ песка. „Мелкий“ песок в обеих сериях опытов был один и тот же — фракция 0,15—0,08 мм.

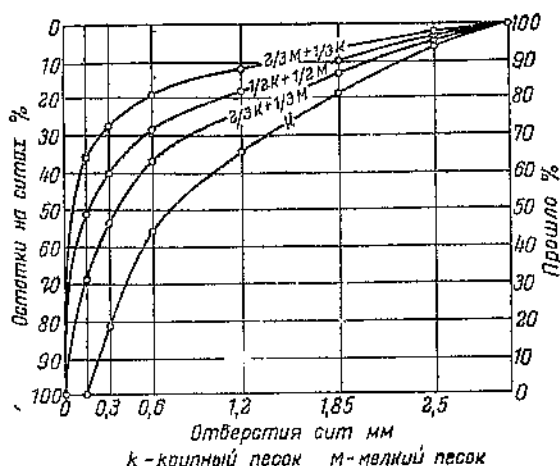


Рис. 94. Кривая гранулометрического состава смесей песков.

Для примера приводятся табл. 7 и 8 для крупного песка и смеси песков крупного (К) $\frac{2}{3}$ и мелкого (М) $\frac{1}{3}$ с соответствующими к ним графиками (рис. 95 и 96). Подобные же таблицы были составлены для смесей песков: $\frac{1}{3}$ К + $\frac{1}{2}$ М; $\frac{2}{3}$ М + $\frac{1}{3}$ К и, наконец, для мелкого, песка.

Песок крупный

Таблица 7

№ по пор.	Состав раствора	Водоцементный фактор W/C	Столб отстоявшейся воды через 1 час от нач. затворения см		Столб отстоявшегося цемента через 1 час от нач. затворения см	
			I	II	I	II
1	1:1,5	0,70	1,2	1,1	0,1	0
2	1:1,5	0,80	1,8	1,6	0,7	0,6
3	1:1,5	0,90	2,1	2,1	1,3	1,4
4	1:1,5	0,95	2,3	2,4	2,1	2,2
5	1:2	0,70	0,7	0,9	0,1	0,1
6	1:2	0,80	1,7	1,6	0,7	0,6
7	1:2	0,90	1,8	1,6	1,4	1,2
8	1:2	0,95	1,9	1,8	1,7	1,4
9	1:2,5	0,70	0,4	0,5	0,1	0,1
10	1:2,5	0,80	0,9	1,0	0,3	0,4
11	1:2,5	0,90	1,8	1,6	0,9	0,7
12	1:2,5	0,95	1,8	1,7	1,2	1,5
13	1:3	0,70	0,3	0,4	0,1	0,1
14	1:3	0,80	0,7	0,7	0,2	0,2
15	1:3	0,90	1,3	1,3	0,4	0,4
16	1:3	0,95	1,5	1,5	0,9	0,9

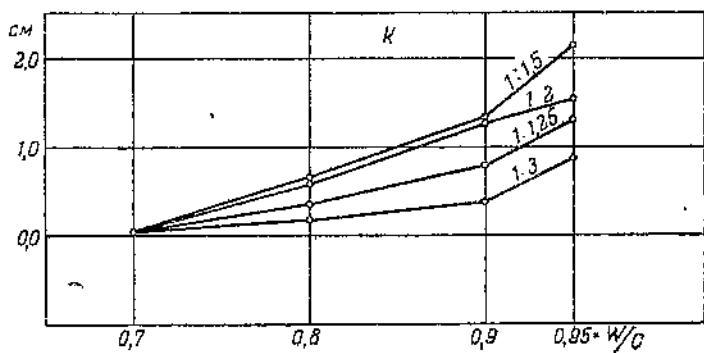


Рис. 95. Кривые к табл. 7.

№ по- ряд	Состав раствора	Водоце- ментный фактор W/C	Столб отстоявшейся воды через 1 час от нач. затворения		Столб отстоявшегося цемента через 1 час от нач. затворения		Примечание
			см		см		
			I	II	I	II	
1	1:1,5	0,70	0,6	0,6	0	0	Раствор не пошел в горло. во- ронки
2	1:1,5	0,80	1,3	1,4	0,5	0,4	
3	1:1,5	0,90	1,5	1,7	0,5	0,6	
4	1:1,5	0,95	1,9	1,8	1,2	1,2	
5	1:2	0,70	0,6	0,7	0,1	0,1	
6	1:2	0,80	0,8	1,0	0,1	0,1	
7	1:2	0,90	1,2	1,3	0,2	0,3	
8	1:2	0,95	1,4	1,5	0,4	0,7	
9	1:2,5	0,70	0,2	0,3	0	0	
10	1:2,5	0,80	0,6	0,7	0,1	0,1	
11	1:2,5	0,90	1,2	1,2	0,2	0,3	
12	1:2,5	0,95	1,3	1,4	0,4	0,5	
13	1:3	0,70	—	—	—	—	
14	1:3	0,80	0,6	0,6	0	0	
15	1:3	0,90	1,0	0,9	0,1	0,1	
16	1:3	0,95	1,2	1,1	0,2	0,2	

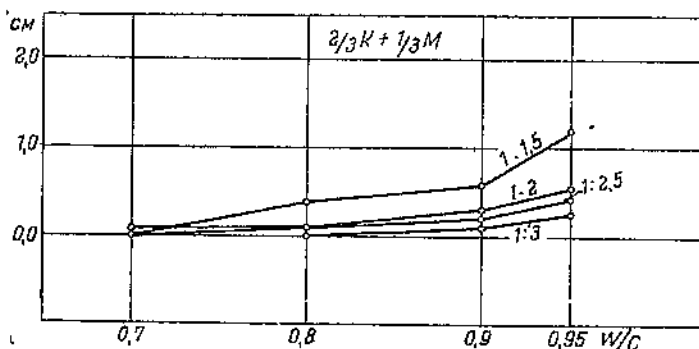


Рис. 96. Кривые к табл. 8.

Таким образом было проведено в общей сложности около 300 опытов, которые затем были сведены в вышеуказанные графики, где по горизонтали отложены W/C, а по вертикали — количества вынесенного цемента.

Опыты эти позволили сделать следующие предварительные заключения.

1. Один крупный песок (см. гранулометрию) не годится, так как происходит интенсивное распадение. Раствор при крупном песке и W/C=0,7 сравнительно устойчив, но он получился настолько густым, что от него пришлось отказаться без всяких дальнейших испытаний.

2. Один мелкий песок дает слишком густое тесто даже при довольно больших значениях W/C . Раствор не проходит в горло воронки при $W/C = 0,9$ и $0,95$.

3. При $W/C = 0,95$ наблюдается значительное увеличение выноса цемента водой и самоотделение воды. Поэтому целесообразно, вообще говоря, рассматривать растворы в границах значений $W/C = 0,7-0,9$.

4. Рассмотрение графиков позволяет разбить растворы на следующие группы, обладающие сходными свойствами по отношению к выносу цемента (рис. 97).

I группа

$1:2,5 \left(\frac{2}{3} K + \frac{1}{3} M \right)$
 $1:1,5 \left(\frac{2}{3} K + \frac{1}{3} M \right)$
 $1:2 \left(\frac{2}{3} K + \frac{1}{3} M \right)$
 $1:2 \left(\frac{1}{2} K + \frac{1}{2} M \right)$

II группа

$1:3 \left(\frac{2}{3} K + \frac{1}{3} M \right)$
 $1:2,5 \left(\frac{1}{2} K + \frac{1}{2} M \right)$
 $1:1,5 (M)$

III группа

$1:3 \left(\frac{1}{3} K + \frac{1}{3} M \right)$
 $1:2,5 \left(\frac{2}{3} M + \frac{1}{3} K \right)$
 $1:2 (M)$

Эти группы, как видно из рис. 97, имеют сходные кривые; по этому признаку они и разбиты. Разбивкой на группы и вышеприведенными заключениями серия опытов в мерных цилиндрах была окончена.

Далее предстояло изучить подвижность отобранных растворов.

19. Испытания подвижности растворов; методика и результаты

Для испытания подвижности растворов была применена предложенная инж. В. В. Стольниковым

аппаратура, состоящая из стеклянной трубки диаметром 22 мм, изогнутой в виде французской буквы U (рис. 98). На одном конце трубки имеется металлическая воронка из белой жести. Другой конец трубки оттянут до диаметра около 10 мм и на него надета резиновая трубочка такого же диаметра.

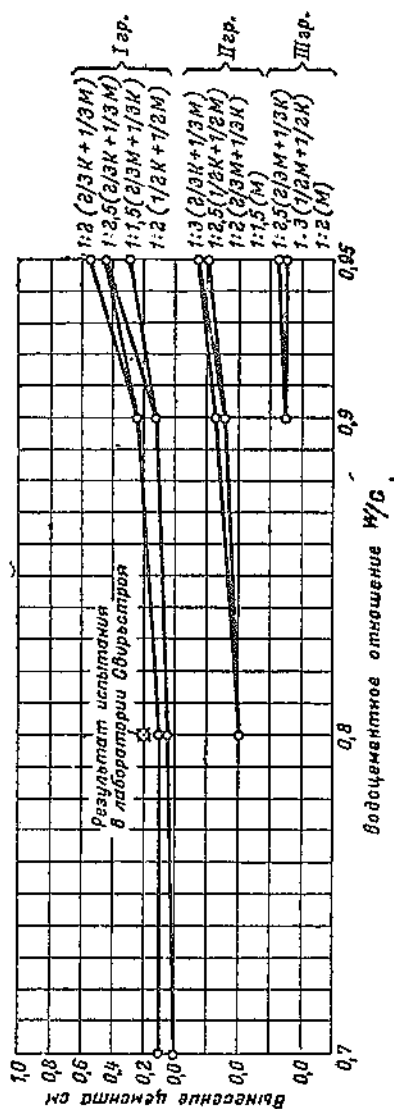


Рис. 97. Растворы со сходными кривыми по результатам опытов в мерных цилиндрах.

Длина колена с воронкой — 80 см, длина колена, оканчивающегося резиновой трубкой, — 65 см.

Требующийся для испытания раствор приготавливали в достаточном количестве. После 3-минутного перемешивания его наливали через воронку в стеклянную трубку, причем резиновый на-

Таблица 9

№ по пор.	Водоцементное отношение W/C	Время на подъем раствора на 25 дел. сек.		Примечание
		I	II	
1	0,95	0,7	0,9	Для песка $\frac{2}{8} \kappa + \frac{1}{8} \kappa$ раствор 1:2
2	0,90	1,0	1,0	
3	0,80	1,3	1,0	
4	0,70	2,3	2,3	

Таблица 10

№ по пор.	Водоцементное отношение W/C	Время на подъем раствора на 25 дел. сек.		Примечание
		I	II	
1	0,95	1,1	1,1	Для песка $\frac{2}{8} \kappa + \frac{1}{8} \kappa$ раствор 1:2,5
2	0,90	1,0	1,3	
3	0,80	1,6	1,6	
4	0,70	2,4	2,3	

конечник на правом колене U-образной трубки был зажат. Осторожным открыванием резиновой трубки уровень раствора в правом колене доводили до отметки 0; в левое колено трубки через воронку дополняли раствор до определенного уровня. После этого производили одновременно 2 действия: освобождали резиновую трубку на правом колене и пускали секундомер. Время по секундомеру, потребное на подъем раствора в правом колене от отметки 0 до условно избранной отметки 25 считалось мерой подвижности раствора. Таким испытаниям были подвергнуты все растворы, отобранные по предыдущим опытам в мерных цилиндрах.

Полученные результаты сведены в табл. 9 и 10.

Такие таблицы составлялись для всех испытуемых растворов и составов песка.

Чтобы исключить случайность при принятии тех или иных цифр, каждый опыт повторялся. Сходимость цифр получилась

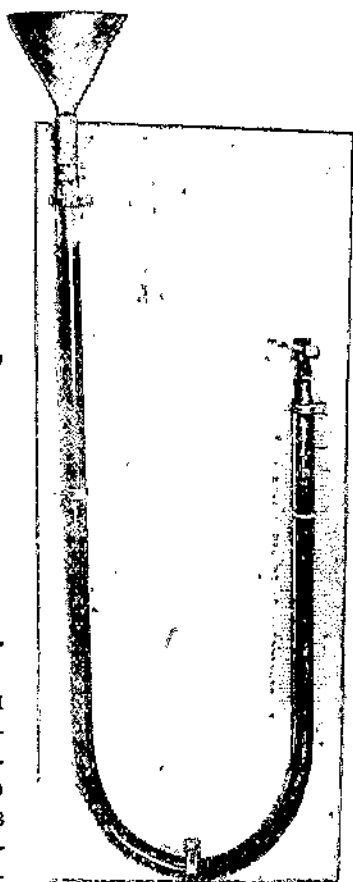


Рис. 98. Прибор для определения подвижности растворов.

настолько удовлетворительной, что можно было не сомневаться в их достоверности.

Результаты опытов были объединены в ряде таблиц (в тексте не приводятся), по данным которых составлены графики (рис. 99).

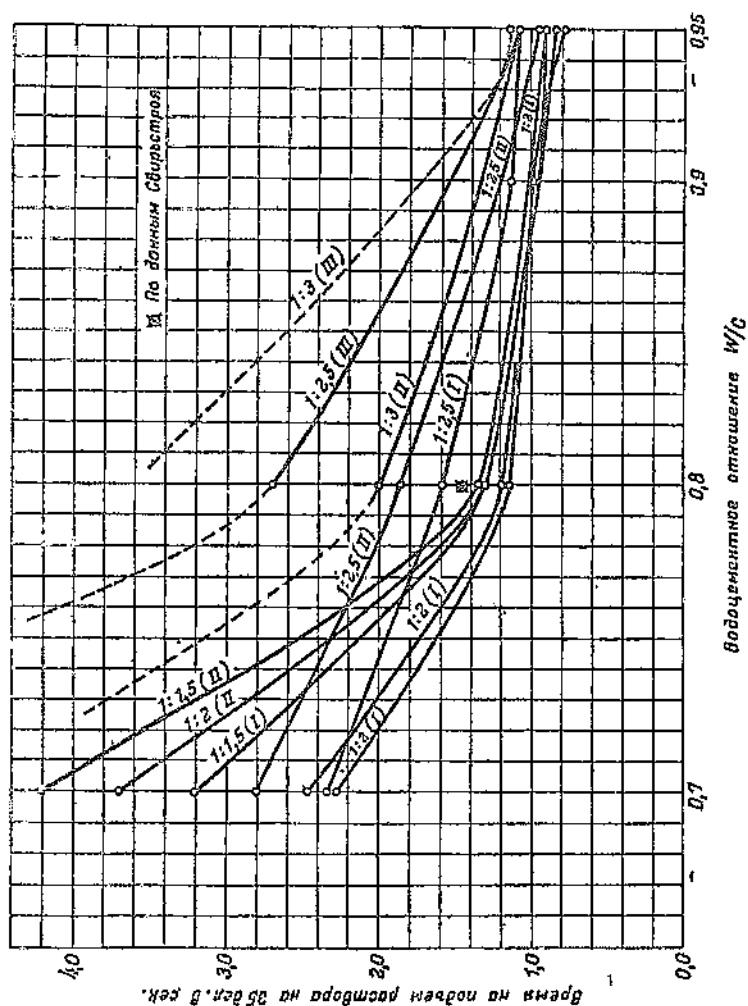


Рис. 99. Кривые подвижности растворов.

Рассмотрение графиков позволило сделать нижеследующие заключения о растворах, подвергнутых испытанию.

1. Участок W/C от 0,9 до 0,95 не обнаруживает значительного увеличения подвижности раствора. Это значит, что увеличение W/C от 0,9 до 0,95 не дает значительного преимущества в смысле увеличения подвижности.

2. Участок W/C от 0,7 до 0,8 характерен значительным сниже-

нием подвижности раствора при переходе от значения $W/C = 0,8$ к значению $W/C = 0,7$.

Эти два заключения позволяют, совместив их с выводами, сделанными на основании опытов в мерных цилиндрах, прийти к следующему положению, уточняющим предварительные выводы:

1) участок W/C от 0,9 до 0,95 не обнаруживает значительного увеличения подвижности раствора. Поэтому, вследствие того, что с увеличением W/C следует ожидать уменьшения прочности раствора, значения $W/C = 0,95$ представляется возможным не рассматривать и ограничиться наивысшим значением $W/C = 0,90$. С другой стороны, в этом убеждает следующее обстоятельство: по опытам в мерных цилиндрах было установлено, что с увеличением W/C от 0,9 до 0,95 наблюдается значительное увеличение выноса цемента и отделения воды;

2) участок W/C от 0,7 до 0,8 не обнаруживает значительного различия в своих пограничных значениях в смысле выноса цемента, т. е. в этом отношении значения $W/C = 0,7$ и $W/C = 0,8$ почти равнозначны. С другой стороны, этот участок характерен значительным снижением подвижности раствора при переходе от $W/C = 0,8$ к $W/C = 0,7$. Отсюда следует, что этот участок также можно не рассматривать и принять его верхнюю границу $W/C = 0,8$;

3) раствор 1 : 2,5, при соотношении крупного песка к мелкому $\frac{2}{3}$ к $\frac{1}{3}$ м, имеет плавную кривую. Кривая весьма близка к прямой и в этом ее преимущество перед другими кривыми, так как некоторая погрешность в выборе W/C для данного раствора не будет сопровождаться значительным изменением свойств раствора в смысле подвижности. Другие же кривые показывают, что для них ошибка в выборе W/C может привести к резкому снижению подвижности. Всеми этими обстоятельствами определяется окончательный выбор раствора, а именно:

Состав раствора 1 : 2,5
Заполнители $\frac{2}{3}$ к $\frac{1}{3}$ м
W/C 0,8—0,9.

20. Сравнение и поверочные испытания цементных растворов, определенных в лаборатории Свирьстроя

Для сравнения полученных результатов и для проверки избранной методики по окончании исследований в лаборатории ЦНИИВТа были проведены испытания раствора, полученного в лаборатории Свирьстроя и рекомендованного в качестве наилучшего.

Для этого имелись следующие данные:

- 1) кривая гранулометрического состава песка (рис. 100);
- 2) состав раствора.

По кривой гранулометрического состава была составлена искусственная смесь песков. На таком песке был изготовлен раствор состава 1 : 2,5 при $W/C = 0,8$.

Полученный раствор имел свойства, весьма близкие к свойствам растворов, рекомендованных на Свирьстрое.

Кроме того, также с целью сравнения гранулометрического состава песков, были наложены кривые гранулометрического состава тех и других песков (для состава $2\frac{1}{2}$ и $1\frac{1}{8}$ м). Эти кривые показали весьма близкое совпадение (см. рис. 100).

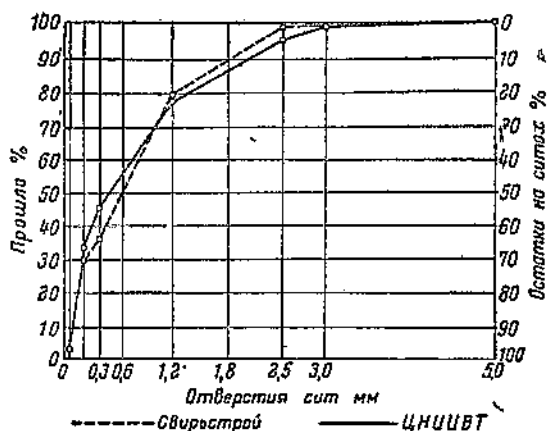


Рис. 100. Кривые просеивания песка Свирьстроя и ЦНИИВТа.

гранулометрическом и физическом составе песка, близком к рассмотренным выше кривым, является для производства подводной бутовой кладки наилучшим.

21. Лабораторные опыты по изготовлению массивов способом подводной бутовой кладки

Имея в виду большое количество опытных массивов, изготовленных при свирских исследованиях, можно было бы вовсе не изготавливать таких массивов в условиях ЦНИИВТа. Однако для наглядного примера значения гранулометрических составов песков было решено залить два секторных (по образцу Свирьстроя) блока, применив при этом два различных по гранулометрическим составам песка (составы песков указаны ниже).

Результаты испытания прочности растворов этих массивов, как будет видно впоследствии, вполне оправдали такое решение.

При изготовлении массивов применялось следующее оборудование.

Опалубка. Опалубка блоков была построена из $1\frac{1}{2}$ " досок и представляла собой четырехугольный бездонный ящик, разделенный по диагонали перегородкой таким образом, что в плане получались 2 равнобедренных треугольника с углами при вершине около 30° (рис. 101).

Опалубка блоков была помещена в деревянный водонепроницаемый ящик, наполненный водой; между опалубкой блоков и стенками ящика оставалось пространство около 15—20 см.

Опалубка внутри, до высоты 95 см в одном отделении и до высоты 75 см в другом, была заполнена рваным камнем размером в поперечнике 15—20 см. Объемы, заполненные камнем, были около 1,6 м³. Все швы опалубки были предварительно проконопачены.

На дно ящика опалубки, для уплотнения щелей примыкания нижних кромок стен опалубки к дну наружного ящика, насыпался слой песка толщиной 5—7 см.

Оборудование. Оборудование для вливания цементного раствора под водой внутрь каменной наброски состояло из

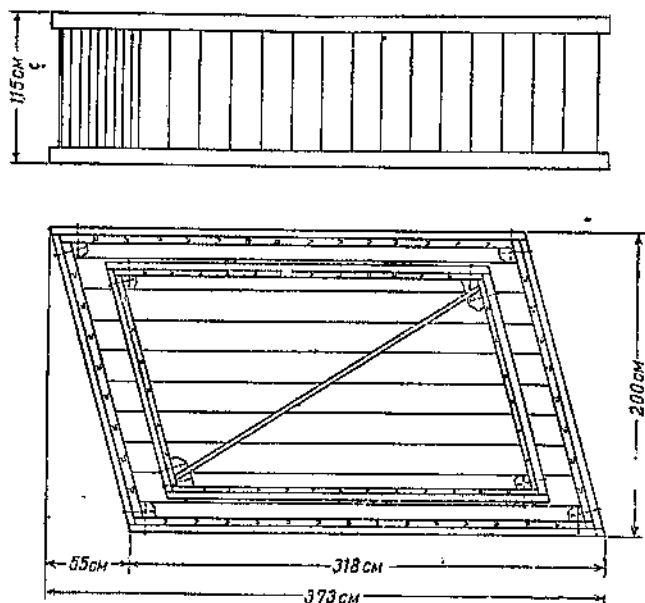


Рис. 101. Опалубка блоков.

трубы с клапаном, шахты, а также поплавков, устроенных для наблюдения за ходом заливки.

Труба. Труба длиной около 1,5 м изготовлена из 3-мм железа. Внутренний диаметр трубы 2". На верхнем конце трубы укреплен воронка из 2-мм железа высотой 0,50 м. Диаметр верхнего отверстия воронки — 0,75 м (рис. 102).

К нижнему концу трубы (сделанной по образцу Свирьстроя) были приварены три ножки из углового железа, на которые труба должна была опираться при установке на дно ящика. Внутрь трубы пропущена толстая стальная проволока, на которой укреплен деревянный клапан. Этот клапан служит для открывания и закрывания нижнего отверстия трубы, чтобы регулировать по желанию скорость вливания раствора. Такой клапан нужен был исключительно для опытных целей.

Оба указанные приспособления — ножки на нижнем конце трубы и клапан на проволоке — совершенно излишни, так как

можно регулировать выход раствора путем подъема трубы на любую высоту, достигая полного закрывания нижнего отверстия трубы. При практической заливке этих приспособлений не требуется, тем более, что по существу эти приспособления противоречат друг другу: ножки делаются для образования выхода раствора из нижнего отверстия трубы, которое потом надо закрывать клапаном.

Шахта. Труба была установлена на вершине треугольника и отгорожена от камня деревянной решеткой из реек. В середине основания равнобедренного треугольника была помещена

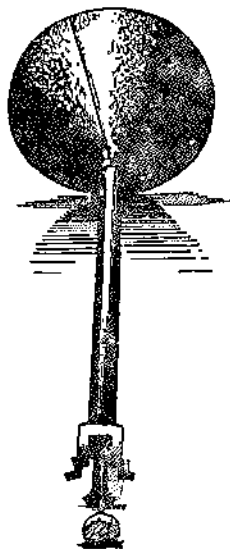


Рис. 102. Труба с воронкой для опытной заливки.

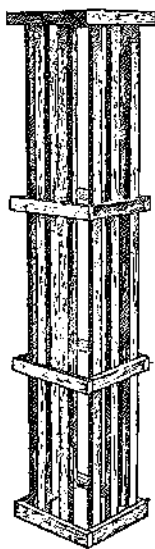


Рис. 103. Шахта Гердселя из деревянных реек для опытной заливки.

шахта из деревянных реек, размером 20×20 см, в плане квадратной формы (рис. 103).

Поплавок. Внутри второй шахты мог перемещаться поплавок. Вес поплавка был подобран таким образом, что в воде он был уравновешен грузом, перекинутым через блок, укрепленный в потолке и снабженный указателем, перемещающимся по шкале.

Когда заливаемый раствор проходил через всю каменную наброску и подходил к поплавку, последний всплывал, вследствие чего груз начинал опускаться. По перемещению указателя по рейке можно было определить скорость поднятия раствора и высоту его подъема.

Раствор. Для заливки блока № 1 был применен раствор состава 1:2,5. В качестве запол-

нителя использовали песок, составленный искусственно путем смешения песков № 1 и 2.

В наличии имелись пески следующей гранулометрии (табл. 11 и 12).

Таблица 11

Песок № 1

Размер отв. сит мм	5	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15	Прошло 0,15	Рас-тру-ска
Частн. ост. %	0	0	0,3	12,0	36,4	32,9	18,1	0,3
Полн. ост. %	0	0	0,3	12,3	48,7	81,6	—	—

Песок № 2

Размер отв. сит мм	5	3	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15	Прошло 0,15
Частн. ост. %	0	0	20,6	79,4	0	0	0	0
Полн. ост. %	0	0	20,6	100,0	100,0	100,0	100,0	—

Для того чтобы можно было приблизиться к запроектированной кривой гранулометрического состава, пески смешивались в следующей пропорции: 1 часть песка № 2 и 4,2 части песка № 1.

Тогда на 1 кг смеси получалась следующая гранулометрия (табл. 13).

Таблица 13

Размер отв. сит мм	5	3	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15	Прошло 0,15
Частн. ост. %	0	0	4,0	15,6	9,7	29,4	26,6	14,7
Полн. ост. %	0	0	4,0	19,6	29,3	58,7	85,3	—

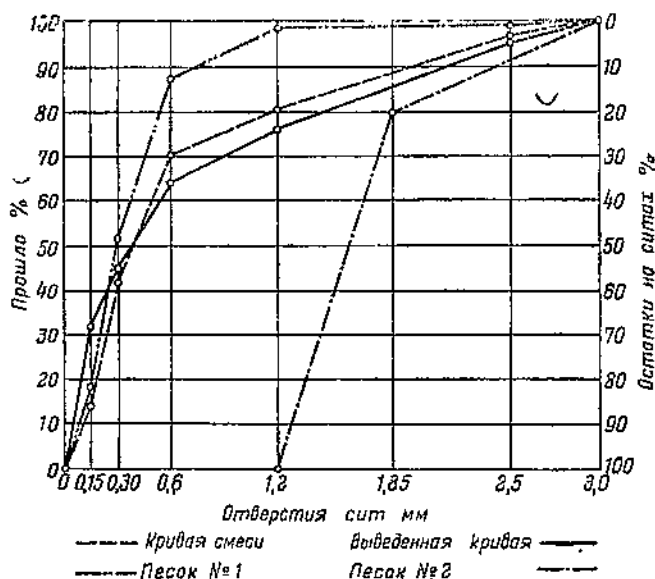


Рис. 104. Кривые просеивания песков.

Кривая гранулометрического состава смеси представлена на рис. 104.

На этом песке и был приготовлен раствор для заливки блока № 1.

Состав раствора 1:2,5 (по весу), $W/C=0,8$.

Для заливки блока № 2 применялся только мелкий песок № 1 без добавки крупного песка.

Формы для образцов и заливка. В опалубку, как упоминалось выше, заложили камни размером в поперечнике 15—20 см. На стенках опалубки укрепили деревянные формы контрольных кубиков размером $7 \times 7 \times 7$ и $20 \times 20 \times 20$ см (рис. 105).

Кубики размером $7 \times 7 \times 7$ см предназначались для взятия проб раствора на различных расстояниях от вливающей трубы, кубики размером $20 \times 20 \times 20$ см также для взятия раствора, но несколько форм было заполнено щебнем размером в поперечнике около 5,0 см.

При заливке блока № 1 раствор приготавливался вручную в двух творах. Подача его к воронке производилась ведрами.

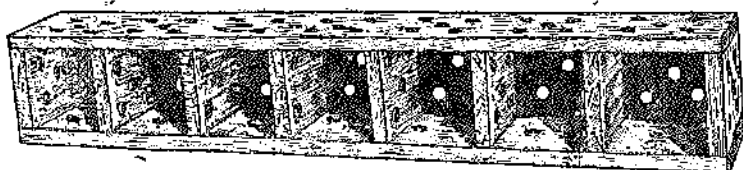


Рис. 105. Формы контрольных мелких кубиков, закладывавшихся в форму блока.

При первом наполнении воронки клапан был поднят до нижнего отверстия воронки, а затем опущен. При этом раствор из воронки заполнил всю трубу, не соприкасаясь с водой, так как вода из трубы была вытеснена раствором. После этого клапан приоткрыли настолько, что раствор стал выходить из трубы и поступать в каменную наброску; одновременно с этим началась подача заготовленного раствора ведрами в воронку.

Перемешивание каждой порции раствора продолжалось 5 мин.

Заливка блока № 2 была произведена с целью выяснения, как влияет на прочность и легкость заливки сравнительно мелкий песок. Для этого был использован песок № 1. Как видно из рис. 104, этот песок значительно мельче примененного при заполнении блока № 1, вследствие чего потребовалось несколько более высокое значение водоцементного фактора. Было принято $W/C=1,0$.

В блок № 2, так же как и в блок № 1, был загружен рваный камень размером в поперечнике 15—20 см. В блоке были заложены кубики $7 \times 7 \times 7$ и $20 \times 20 \times 20$ см. Вся опалубка блока была заполнена камнем размером около 10—15 см. То же было сделано с частью кубов размером $20 \times 20 \times 20$ см.

Кубы были уложены вдоль наружной стенки блока.

Заливка блока № 2 производилась также вручную.

Распалубка блоков и взятие образцов. После заливки оба блока хранились в опалубке. Снаружи опалубки постоянно

имелась вода. Температура воды колебалась от 10 до 12° С. Опалубка первого блока была снята по истечении 30 дней, а второго блока — через 7 дней. Поверхность блоков была вполне гладкая, без раковин. Неполное заполнение раствором было обнаружено только в формах, заложенных в блок для взятия образцов. Пустоты между камнями, заложенными в опалубку, при наружном осмотре блоков оказались заполненными раствором.

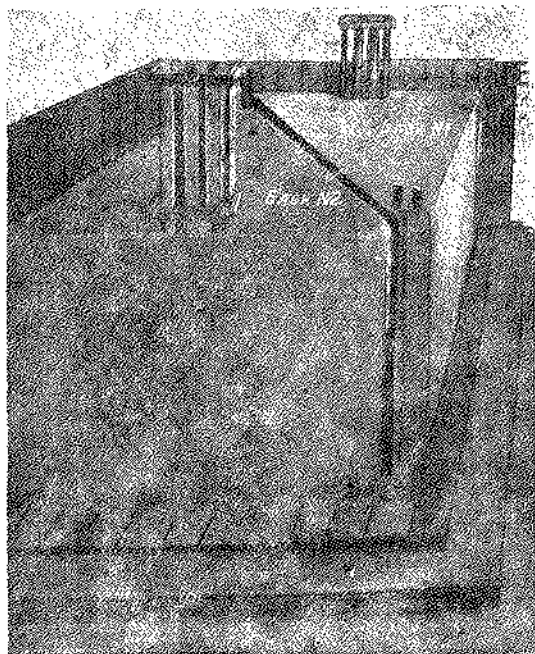


Рис. 106. Распалубленные готовые блоки.

Рис. 106 показывает наружный вид блоков после распалубки. Щель между блоками образована промежуточной стенкой опалубки (рис. 101 — чертеж опалубки для блоков). На поверхности блока № 1 была заметна корка толщиной 4—5 мм, образованная цементным шламом. На поверхности блока № 2 корка была значительно толще, а именно — 25—30 мм. При простукивании блоков металлическим предметом был слышен чистый звук.

На боковой поверхности блока № 2 было обнаружено значительное распадаение раствора. В блоке № 1 распадаение было значительно меньше. Оно ясно было замечено только в формах для контрольных образцов. Следует отметить, что при заливке блока № 1 имели место перерывы до 15—20 мин., связанные с неудобствами ручного приготовления раствора.

С целью выяснения внутренней структуры и качества заполнения пустот между камнями блоки были разбиты. Разбивание производилось с помощью металлических клиньев и кувалд.

Блок № 2 был разбит без затруднений, как и следовало ожидать, ибо значение $W/C = 1,0$, а возраст его был равен 7 дням. Блок ломался большими глыбами; все пустоты между камнями оказались заполненными раствором. Местами наблюдались слои песка, не связанного раствором. На расстоянии 1,5 м от вливающей трубы было замечено значительное распадение раствора. Можно было наблюдать полосы песка и цемента.

Если сопоставить это с коркой, образовавшейся на поверхности блока, и с высоким водоцементным отношением, то станет ясным характер картины. Она обусловлена тем, что раствор при хорошей подвижности обладал плохой связанностью и распался при введении его в наброску.

Иное было обнаружено в блоке № 1. Этот блок был залит при $W/C = 0,8$ и гранулометрическом составе песка, представленном на рис. 104, т. е. близком к выведенной теоретической кривой. Блок обнаружил хорошую плотность и совершенное заполнение всех пустот в камнях.

Разбивание блока было довольно затруднительно; это удалось произвести только с помощью металлических клиньев. Распадение раствора было замечено лишь в формах для образцов $20 \times 20 \times 20$ и $7 \times 7 \times 7$ см.

На рис. 107 изображено поперечное сечение блока (снимок сделан после того, когда половина блока



Рис. 107. Образец выломанного куска кладки.

была отколота). На рис. 108 показаны 2 обломка, взятые примерно в середине блока. Видно, что раствор хорошо заполнил все пространство между камнями и скрепил их между собой.

Результаты испытания образцов, взятых из блоков № 1 и 2. После разбивки блоков, из заложенных форм были взяты образцы размерами $20 \times 20 \times 20$ см, а кроме того в различных местах блоков были взяты образцы раствора. Заливка формы $7 \times 7 \times 7$ см не удалась. Из раствора были изготовлены, путем выпиливания, кубики размером около $5 \times 5 \times 5$ см, которые затем испытывались на раздавливание.

В данном случае представляется вполне целесообразным испытывать именно раствор с целью определения прочности. Испытание кубиков, выпиленных из блоков со включением кам-

ней, дало бы искаженную картину. Причина заключается в том, что размеры камней достаточно велики — 20 см в поперечнике. Поэтому, изготавливая образцы, например выпиливанием кубиков $40 \times 40 \times 40$ см, мы имели бы соотношение размеров камней и кубиков 1:2, что явно недостаточно и привело бы в известных случаях к испытанию прочности камней, а не материала, состоящего из камней, связанных раствором. Испытание же кубов больших размеров — с соотношением размеров камней и длин граней, например, 1:5 — привело бы к невозможности испытания образцов размерами $1,0 \times 1,0 \times 1,0$ м, так как потребовался бы чрезвычайно мощный пресс для раздавливания.

При испытании кубиков размером $20 \times 20 \times 20$ см, взятых из деревянных форм, заполненных щебнем, было замечено, что раствор внутри этих форм подвергся распадению: образцы по-



Рис. 108. Образец выломанного куска кладки.

лучились слоистыми. Это было обусловлено тем, что раствор для заполнения форм, пройдя сложный путь между камнями, должен был проникнуть сквозь отверстия диаметром 25 мм в стенках форм. Это и вызвало распадение раствора; проходя сквозь узкие отверстия и затем попадая в широкое пространство внутри формы, раствор неминуемо терял скорость и падался.

Образцы эти были все же испытаны на сжатие параллельно и перпендикулярно к слоям. Испытания показали, что образцы при сжатии параллельно слоям имели временное сопротивление сжатию порядка $25\text{--}30 \text{ кг/см}^2$, при сжатии перпендикулярно к слоям — порядка $70\text{--}75 \text{ кг/см}^2$.

Так как поступление раствора в формы при сравнительно малых отверстиях в стенках происходит, очевидно, при иных условиях, чем внутри пустот каменной наброски, результаты эти, как нехарактерные, были отброшены.

Поэтому все заключения по данному опыту базируются на испытаниях прочности раствора, взятого в различных точках блока,

Вообще следует отметить, что помещение в теле большого блока подводной бутовой кладки небольших форм, заполненных щебнем, как показали опыты ЦНИИВТа, не дает сколько-нибудь заслуживающих доверия результатов. Кроме вышеуказанного объяснения этих неудач, уместно будет здесь указать на следующее положение.

Если имеется в виду получить подводную бутовую кладку, то применяется раствор из цемента и песка, а в качестве заполнителей — камни, размером от 15 до 25 см, без всякой примеси щебня и песка. Раствор заливается с небольшим давлением, чтобы он, растекаясь спокойно, заполнял пустоты без взмучивания, вызывающего его распадение.

Если по размерам и форме заполняемой полости не могут быть применены крупные заполнители, следует употреблять щебень без песка, причем самые мелкие частицы щебня должны быть не меньше 5 мм.

В заполненную таким щебнем полость нагнетается раствор из чистого цемента или из цемента с добавкой каменной муки, причем в этом случае абсолютное давление, при котором нагнетается цемент, может достигать 5 ат и более при разности давления в подводящей раствор трубе и наружного давления у нижнего конца трубы порядка 1 ат. При этих условиях явления отмучивания быть не может и поэтому взмучивание, если бы оно и имело место, опасности не представляет.

После этих замечаний возвращаемся к продолжению рассмотрения испытания образцов.

Из каждого блока были взяты образцы 2 сортов. Первая группа образцов была взята в непосредственной близости — на расстоянии 50—60 см — от оси вливающей трубы, приблизительно на половине высоты блока (в количестве 5 штук для каждого блока), вторая группа — на расстоянии около 1,5—1,75 м от оси вливающей трубы, также, примерно, на половине высоты блока.

Из блока № 1 было взято 3 таких образца, а из блока № 2 — 2.

Возраст образцов из блока № 1 при испытании равнялся 110 дням, а образцов из блока № 2 — 74 дням. Образцы хранились в воде.

Из образцов раствора были выпилены кубики размером $5 \times 5 \times 5$ см и испытаны на раздавливание на 60-тонном прессе Амслера.

Испытания показали, что раствор в блоке № 1 в непосредственной близости от вливающей трубы имел временное сопротивление сжатию от 130 до 398 кг/см², а на расстоянии 1,5 м от вливающей трубы, примерно в середине блока, от 139 до 223 кг/см².

Эти цифры, конечно, не могут служить основанием для окончательных выводов, но показывают, что соображения о пригодности раствора, примененного для заливки блока № 1, вполне

справедливы. Следует сказать, что цемент, использованный для заливки, имел активность 176 кг/см^2 .

Испытания раствора из блока № 2 показали, что раствор в непосредственной близости от вливающей трубы имел временное сопротивление сжатию от 35 до 75 кг/см^2 , а на расстоянии 1,5 м, примерно в середине блока, — от 48 до 58 кг/см^2 .

Эти цифры, обусловленные для блока № 2 высоким значением W/C и неподходящим гранулометрическим составом песка, подтверждают наши соображения о непригодности для заливки мелкого песка.

22. Заключение и выводы

На основании выполненных исследований свойств растворов представляется возможным считать, что раствор, состоящий из смеси цемента и песка, при соотношении 1:2,5 по весу и при водоцементном отношении $W/C = 0,8 - 0,9$, наиболее пригоден для заливки каменной наброски под водой при размерах камня в поперечнике 15—20 см. Гранулометрия песка при этом должна быть близкой к выведенной кривой (рис. 91). При расстоянии между трубами 3—4 м значительного распадаения не замечено.

Кроме того испытание пригодности раствора для заливки в отношении связанности и подвижности следует производить по предлагаемой методике:

1. Испытание в мерных цилиндрах.
2. Испытание в U-образной трубке.
3. Изготовление кубиков $7 \times 7 \times 7 \text{ см}$ и восьмерок.

При этом цифры, характеризующие связанность и подвижность раствора, должны быть достаточно близкими для раствора, испытанного в лабораториях: состав 1:2,5 ($\frac{2}{3} \text{ к} + \frac{1}{3} \text{ м}$), $W/C = 0,8 - 0,9$.

Подача раствора через трубу должна быть равномерной, причем раствор необходимо тщательно перемешивать. Заливка должна производиться без перерывов в работе, так как они приводят к закупориванию пустот между камнями и вызывают распадаение раствора.

Необходимо отметить, что полученные на основании лабораторных исследований указания относительно гранулометрического состава песков (крупный в пределах от 3 до 0,15 мм, мелкий от 0,15 до 0,08 мм и пропорции их смеси), равно как и состава самого раствора при практическом пользовании ими ни в каком случае не должны рассматриваться как стандартный эталон, который должен быть выдержан.

В природе, а стало быть и в условиях производства работ, не бывает вполне однородных песков. Даже в том случае, когда пески добываются при видимо одинаковых условиях (крупные пески — с берега моря или мелкие дюнные пески) наблюдается весьма большая неоднородность песков. Сортировка естественных строительных песков хотя и возможна, но в условиях и масштабе производства работ почти невыполнима. Однако имеющиеся на месте пески в их естественном состоянии не всегда

могут удовлетворить требованиям производства подводной бутовой кладки.

С этой целью составы местных песков должны быть проверены, что даст возможность выявить, который из имеющихся песков наиболее пригоден или при каких смесях наличных песков можно ожидать наиболее благоприятных результатов.

Имея в виду потребность такой проверки состава песков и самого цементного раствора, выше подробно указаны методы и способы лабораторных исследований. Они достаточно просты и для производства их требуется очень простое оборудование, доступное самым примитивным полевым лабораториям, а именно: обычный набор сит, мерные стеклянные цилиндры и U-образная стеклянная трубка с зажимом.

Проверка качества раствора в действительной обстановке работы крайне важна и необходима.

Не исключается также необходимость, в случае недостатка в районе работы песков, отвечающих по своему составу стандартным кривым просеивания, прибегнуть к увеличению количества цемента или водоцементного фактора, хотя эта последняя мера вызовет уменьшение прочности и водонепроницаемости кладки.

Из изложенного видно, что в настоящее время имеются три способа получения вполне надежных по прочности массивов под водой, не прибегая к перемычкам и водоотливу. Способы эти следующие.

1. Подводное бетонирование по методу восходящего цементного раствора. Характерные данные применения этого способа:

1) употребление заполнителей, соответствующих по крупности заполнителям обычного бетона (щебень, гравий), но не содержащих частиц меньше 5 мм;

2) употребление цементного теста или смеси цемента и каменной муки в таком количестве и такой крупности помола, чтобы была исключена возможность распада раствора;

3) нагнетание раствора по трубкам под давлением до 5 ат.

Область применения: при наличии тесных полостей, не допускающих применения крупных заполнителей; в случае необходимости введения арматуры; для совершенно плотного и водонепроницаемого заполнения полостей.

2. Подводная бутовая кладка. Характерные данные применения этого способа:

1) употребление заполнителей размером в поперечнике от 10 до 25 см, как для обычной бутовой кладки из камней такого размера;

2) употребление раствора из цемента с песком определенной крупности; состав раствора — 1:2,5; водоцементный фактор — от 0,8 до 0,9;

3) раствор заливается в пустоты каменной насыпки под водой через трубки диаметром 8—10 см, опускаемые в решетчатые шахты Гернелля. Расстояние между трубками — 4—5 м.

Область применения: при образовании массивов любых размеров, когда прочность не должна превосходить прочность обычной бутовой кладки.

3. Подводное бетонирование по методу вертикально перемещающейся трубы, когда заблаговременно приготовленная на воздухе бетонная смесь опускается под воду по трубам большого диаметра.

Другими словами, эти способы применяются во всех тех случаях, когда необходимо получить под водой конструкцию, имеющую прочность, близкую к обычному бетону, приготовленному на воздухе.

Из этого краткого технического итога видно, что нельзя смешивать указанные способы получения бетонных и бутовых конструкций под водой. Они различны и каждый из них имеет определенные области применения.

ГЛАВА VII

ПРИМЕРЫ ОСУЩЕСТВЛЕННЫХ И ЗАПРОЕКТИРОВАННЫХ ОСНОВАНИЙ, ВЫПОЛНЯЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ ПОДВОДНОЙ БУТОВОЙ КЛАДКИ И МЕТОДОМ ВОСХОДЯЩЕЙ ЦЕМЕНТНОЙ ЗАЛИВКИ

23. Заполнение отсеков железобетонного массива-гиганта подводной бутовой кладкой

В заключение приводим примеры частью уже фактически осуществленных, частью запроектированных для ближайшего выполнения конструкций, исполненных разнообразными способами.

В одном из портов в некотором отдалении от берега, на глубине 9,5 м, потребовалось сделать основание под склад, обеспечивающее возможность причала судов с осадкой до 6 м. Для осуществления этого задания был разработан проект основания, эскизно показанный на рис. 109, в следующем виде. На месте сооружения делается каменная подсыпка толщиной 2 м, верхняя поверхность которой тщательно дважды выравнивается водолазами, причем второе выравнивание производится после некоторой осадки основания путем подсыпки слоя щебня.

Выравнивание наброски производилось следующим, заслуживающим внимания, способом. Камень в подсыпку доставлялся в судах и сбрасывался с них на обозначенной буйками площади непосредственно в воду (часть судов имела открывающиеся днища).

В результате такой наброски камня поверхность подсыпки получалась весьма неровная. Первоначальное грубое выравнивание поверхности водолазами заключалось в уничтожении бугров и ям (рис. 110). После этого на поверхности подсыпки выравнивались полосы, по которым точно — по ватерпасу — укладывались старые железнодорожные рельсы на протяжении 4 м. Когда

такие маячные рельсы были уложены, в промежутках между ними камень выравнивался по рейкам, причем поверхность выровненного камня нигде не была выше подошвы рельса. Окончательно промежутки между рельсами выравнивались слоем щебня. При таком способе точность выравнивания достигала 1—2 см.

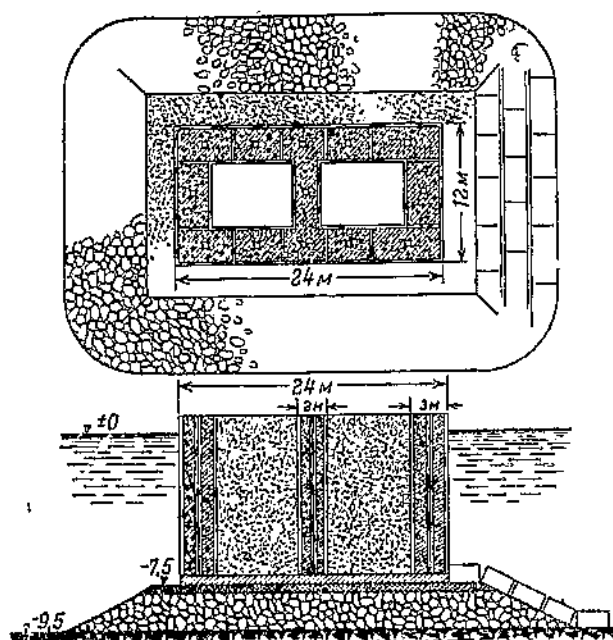


Рис. 109. Заполнение отсеков массив-гиганта подводной бутовой кладкой.

влияет понтон требующихся размеров. После разборки перемычки и наполнения котлована водой массив-гигант всплыл и был отбуксирован к месту подготовленной каменной подсыпки. По

Во время насыпки камня и выравнивания каменной подсыпки основания в особом котловане за перемычкой строится железобетонный массив-гигант, отвечающий своими внешними размерами возводимому на нем сооружению.

Массив-гигант имеет сплошное железобетонное днище и вертикальные железобетонные стенки, образующие по всему периметру массива ряд отсеков примерно одинаковой величины (рис. 109). Таким образом, весь массив-гигант предста-

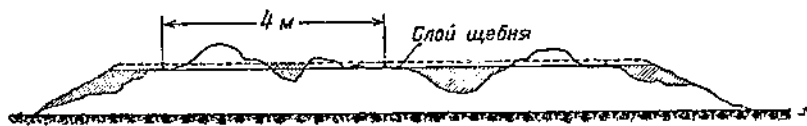


Рис. 110. Выравнивание каменной подсыпки под водой.

установке массива на якорях над каменной подсыпкой были открыты специальные отверстия для заполнения отсеков водой. Когда оставался уже небольшой слой воды между днищем массива и поверхностью каменной подсыпки, закрыли отверстия и прекратили впуск воды. Закончив последнюю проверку правильности положения массив-гиганта, возобновили впуск воды до окончательной посадки массив-гиганта на место. Немедленно

после окончательной посадки начали заполнение внутренних полостей массив-гиганта рефулерным грунтом и в то же время приступили к заполнению бутовой кладкой отсеков по периметру.

Заполнение бутовой кладкой всех периферических отсеков производилось следующим образом.

В каждый отсек были установлены оградительные сетки, состоящие из 6 вертикальных стержней круглого железа диаметром 1,25", скрепленных приваренными хомутами из $\frac{1}{2}$ " круглого железа через 30 см по длине сетки. Размеры сеток в плане — 20×20 см. По установке оградительных сеток отсек заполнялся камнем размерами в поперечнике от 10 до 25 см. В шахту вводились железные трубы диаметром 8 см, состоящие из коротких свинчиваемых колен (длиною около 1 м) с тем, чтобы их легко было удалять по мере подъема трубы. Это приходится делать тогда, когда нет растворонасоса. При наличии растворонасоса нет надобности вынимать звенья.

В отношении гранулометрического состава заполнителей были указаны фракции песка, определившиеся при лабораторных исследованиях, т. е. принималось следующее соотношение: $\frac{2}{3}$ крупного песка (от 3 до 0,15 мм) и $\frac{1}{3}$ мелкого (от 0,15 до 0,08 мм) с проверкой гранулометрического состава по кривым ОСТА. Состав раствора был принят 1:2,5 при водоцементном факторе $W/C = 0,8-0,9$. Для того чтобы первая порция раствора не попала непосредственно в воду, в приводящую раствор трубу закладывалась слабая пробка из тряпок или пакли. Подача в трубу цементного раствора должна производиться непрерывно, причем надо наблюдать, чтобы сечение трубы постоянно было наполнено. Это достигается осторожным подъемом трубы. На практике такая сноровка приобретает довольно быстро.

При всех описанных условиях производство работ не представляло никаких затруднений. Заливка раствором шла беспрепятственно и не наблюдалось образования пробок. Выполненная работа дала вполне благоприятные результаты.

В данном случае при общей ширине банок 2 м длина их не превышала 3 м, и при этих условиях для вполне надежного заполнения каменной наброски было достаточно одной шахты и заполняющей трубы. Для массивов большего размера, на основании результатов лабораторных исследований и наблюдений при производстве кронштадтских работ, где ясно можно было видеть последовательность выступления на поверхности массива заполняющего раствора, расстояние между приводящими раствор трубами можно рекомендовать не больше 6 м, лучше даже принять 4 м, что соответствует радиусу надежно заполняемой сферы от центра приводящей раствор трубы 2—3 м.

24. Заполнение ряжевых банок подводной бутовой кладкой

Совершенно аналогичную работу пришлось выполнить в несколько иных условиях. В районе постройки было достаточное количество лесных материалов и это позволило применить ряжи.

В зимний период рубка и опускание ряжей могут быть выполнены со льда. Экономическая выгода и преимущество приме-

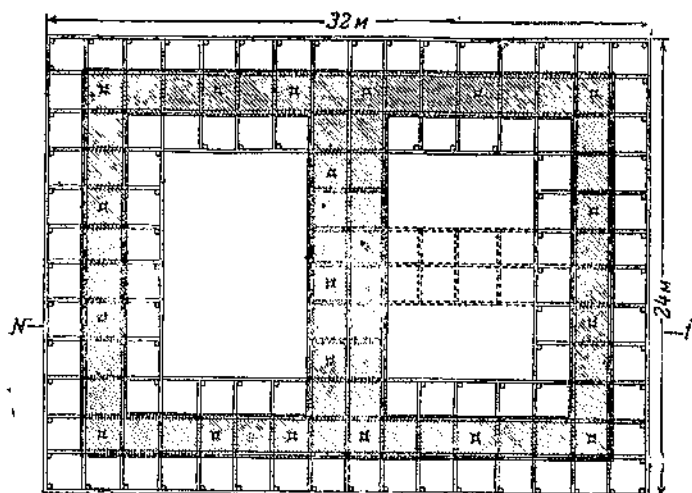


Рис. 111. План ряжевого основания; показаны заполнение средних банок подводной бутовой кладкой и расположение шахт Гернелля.

ния ряжей в таких условиях вполне ясны, но появилось совершенно правильное соображение относительно осадки и отсутствия жесткости в самой конструкции ряжей.

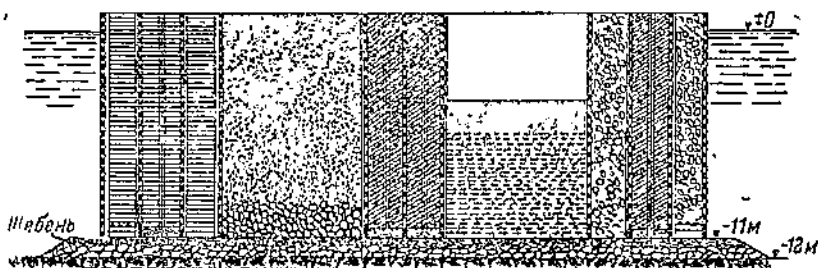


Рис. 112. Разрез ряжевого основания.

Левый ряж не заполнен камнем. Левая крайняя банка снабжена полом; правая банка без пола. В средней банке установлена шахта Гернелля и сделана уплотняющая дно банки песчаная подсыпка. У стен средней банки показана с наружной стороны уплотняющая обшивка. Средний ряж из двух банок сплошь заполнен подводной бутовой кладкой. Правый ряж, той же конструкции, что и левый, заполнен каменной наброской, а средняя банка — подводной бутовой кладкой.

В связи с этим была предложена другая схема постройки основания. На выровненную поверхность каменной подсыпки после ее осадки опускается ряжевое основание (рис. 111 и 112). Ряжи шириной в три банки, при размерах каждой банки 2×2 м,

рубятся сплошь по всему контуру возводимого здания, чтобы средние банки соответствовали контуру стен сооружения.

Под среднюю поперечную стену, где также должен быть соответствующий фундамент, предполагается рубить ряжи в две банки. Все банки ряжей заполняются камнем, а банки, расположенные непосредственно под стенами сооружения, — подводной бутовой кладкой (рис. 111 и 112).

Ряжи, предназначенные для заполнения подводной бутовой кладкой, должны быть американского типа. В том случае, если бутовой кладкой заполняются не все банки, надо поступать следующим образом. Для образования стенок тех банок, где будет бутовое заполнение, следует рубить брусья, опиленные на четыре канта, тогда как для прочих клеток может применяться лес, опиленный на два канта (рис. 113). В банках, заполняемых бутовой кладкой, не надо ставить сжимов, так как взаимная вертикальная связь венцов при заполнении бутовой кладкой получается полная. При устройстве внешних опрадительных сооружений, подверженных сильным ударам волн, во внешних банках, заполняемых только камнем без заливки его раствором внутренние сжимы следует ставить. В ряжах американского типа, расположенных в местах, не подверженных волнению, — пристани, набережные, пирсы и т. п., помещающиеся в гаванях, — сжимов можно не делать, но если сооружения на ряжевом основании подвергаются одностороннему давлению (распор земли), то установка сжимов обязательна.

Банки ряжа, заполняемые подводной бутовой кладкой, должны иметь цементонепроницаемые стенки и дно. В ряжах американского типа промежутки между отдельными брусьями продольных стенок плотно закладывать коротышами с легкой проконопаткой щелей или применять обшивку из двух рядов тонких досок с прокладкой между ними толя или смазанного гудроном картона (рис. 113). Применение того или иного рода уплотнения, равно как и цементонепроницаемой обшивки, зависит от назначения ряжей и их размеров. При неограниченной длине участков ряжей (такие участки могут быть длиной 20, 30, 40 м и более) ширина их может равняться 1, 2, 3 и 4 банкам и более, при ширине банки 2 м (в Кронштадте при глубине 12 м некоторые старые ряжи имеют 10 банок по ширине).

При назначении банок для заполнения подводной бутовой

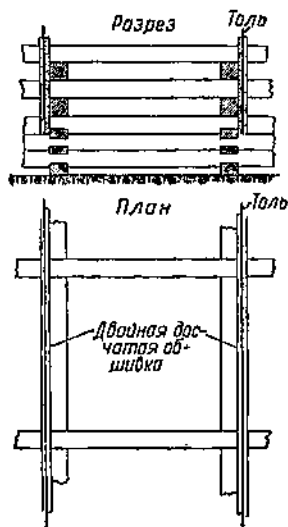


Рис. 113. Разрез и план примерного устройства уплотнения стенок банок ряжей с помощью двойной обшивки из тонких досок с прокладкой между ними толя или прогудронированного картона.

кладкой, а следовательно, и уплотнения стенок ряжа следует руководствоваться следующими соображениями.

1. Применение ряжей шириной в 1 банку в практике встречается редко, например, для ограждения водоприемников, для создания упора береговых откосов и т. п., и в этих случаях вряд ли потребуется заполнение ряжей подводной бутовой кладкой, достаточно просто каменной наброски. Однако, если бы потребовалось заполнение таких ряжей, то пришлось бы делать обе продольные стенки сплошными или применять уплотняющую обшивку с внутренней стороны.

2. Ряжи шириной в 2 банки, если они служат упором откоса, также должны заполняться просто каменной наброской, но в таких же ряжах, образующих основания под поперечные стены сооружения (рис. 111), внешние продольные стены следует делать сплошными или у внешних стен делать внутренние уплотняющие обшивки. В этом случае сжимы не нужны.

3. В ряжах шириной в 3 банки, служащих основанием под стены сооружений, среднюю банку лучше заполнять подводной бутовой кладкой, а крайние банки — каменной засыпкой. При этом в поперечном направлении на ряжевое основание получается центральное давление и крайние заполненные камнем банки служат защитой заполненного раствором ядра сооружения от внешних механических повреждений.

При назначении внутренней или внешней по отношению к банке, заполняемой бутовой кладкой, уплотняющей обшивки надо руководствоваться следующими соображениями: при внешних уплотняющих обшивках продольные брусья стенок ряжа будут втиснены в бутовую кладку и, таким образом, будет создана вполне надежная вертикальная связь этих брусьев; при внутренних уплотняющих обшивках такой связи не будет, хотя останется взаимная связь поперечных венцов между банками в продольном направлении.

В отношении уплотнения дна банок ряжа, подлежащих заполнению бутовой кладкой, надо заметить следующее. Ряжи, часть банок которых заполняется бутовой кладкой, будут служить исключительно основанием под сооружения, так как вряд ли в других случаях, например при постройке оградительных сооружений или при устройстве подпорных ряжей пристаней, потребуется заполнение банок ряжей относительно дорогостоящей подводной бутовой кладкой; можно ограничиться заполнением ряжей камнем.

Ряжи, служащие основанием под сооружения, почти всегда устанавливаются на каменную подсыпку, выровненную слоем щебенчатой подсыпки (рис. 112). При постройке и погружении ряжей нет надобности все банки снабжать днищем. Днища надо устраивать лишь в тех банках, заполнение которых требуется по расчету для затопления ряжа и плотной посадки его на подготовленное основание. Остальные банки, заполняемые каменной наброской и подводной бутовой кладкой, не должны иметь днища. Ряжи, заполненные камнем, равно как и бутовой кладкой,

будут непосредственно опираться на каменную подсыпку. Такое устройство дает более плотное соединение внутреннего заполнения банок ряжа с каменной подсыпкой и тем увеличивает трение ряжа по подсыпке. В тех же случаях, когда банки имеют днище, на подсыпку опираются только нижние брусья банок, причем не исключается возможность смятия этих брусьев. Таким образом, дно банок, подлежащих заполнению бутовой кладкой, будет составлять слой щебня, уложенный на каменную подсыпку. Такое дно не годится для заполнения бутовой кладкой, так как в пустоты щебенчатого слоя и нижележащей каменной наброски будет уходить раствор.

Цементонепроницаемое дно можно получить двояко: 1) все дно банки тщательно выстилать мешками, слабо набитыми бетоном, как это было сделано в Кронштадте, но это требует водозлазных работ и в банках ряжей выполнить это трудно; 2) на дно банки, на щебенчатый слой, насыпать слой песка толщиной 25—30 см; такого слоя будет совершенно достаточно, чтобы не только раствор, но и содержащийся в растворе цемент не мог уходить.

Конечно, в тех случаях, когда на дне банок ряжа предположено песчаное уплотнение, верхняя часть щебенчатого слоя должна быть образована из достаточно мелких фракций, чтобы насыпанный слой песка сам по себе не мог уходить в пустоты щебня (смоченный песок во взвешенном состоянии очень легко проникает в нижерасположенные пустоты).

Заполненные подводной бутовой кладкой ряжи представляют собой вполне жесткую и прочную конструкцию, соответствующую обычной бутовой кладке хорошего качества. В отношении ряжей, заполненных бутовой кладкой, можно совершенно не опасаться осадок, перекосов и других внутренних деформаций, присущих обыкновенным ряжам.

После описанного уплотнения стен и днищ банок самое заполнение ряжей бутовой кладкой производится так же, как железобетонных отсеков, т. е. с установкой решетчатых шахт. Банки заполняют каменной наброской и затем трубами вводят раствор вышеуказанного состава.

25. Применение растворонасосов при производстве подводной бутовой кладки

Основное требование при заливке раствором каменной наброски под водой, — чтобы раствор поступал непрерывно полным сечением приводной трубы, — можно выполнить только при условии применения растворомешалок и растворонасосов. Смешивание раствора может производиться в любой бетономешалке, из которой смешанный раствор должен поступать по желобам в бункер растворонасоса.

Имеется довольно много систем растворонасосов; все они могут быть подразделены на механические, диафрагмовые и пневматические. В настоящее время наиболее полно разработан-

ными и получившими довольно большое практическое применение являются растворонасосы системы К. М. Соколова и Д. И. Соколовского. Это — насосы диафрагмового типа; насос марки ШН-1 — двухцилиндровый (рис. 114), а марки РН-1 — одноцилиндровый (рис. 115 и 116). Принцип работы обоих растворонасосов — один и тот же. Основная особенность насосов этих систем та, что цилиндрический поршень плунжерного насоса при движении взад и вперед нагнетает или высасывает из клапанной коробки воду и заставляет, таким образом, сжиматься или расширяться цилиндрическую резиновую диафрагму, находящуюся внутри клапанной коробки. Клапанная коробка имеет два шаровых чугунных клапана, открывающихся в одном направлении — вверх. Действие насоса понятно из чертежа без особо детальных пояснений. При движении поршня плунжерного насоса вправо вода из клапанной коробки высасывается и за ее счет распрямляется резиновая диафрагма; внутри коробки создается вакуум, причем верхний клапан закрывает верхнее отверстие клапанной коробки, тогда как нижний клапан открывается и раствор из бункера поступает в полость диафрагмы вследствие напора притекающего из бункера раствора и образовавшегося в полости диафрагмы вакуума. При движении поршня влево (при этом движении вода входит в клапанную коробку и сжимает диафрагму) раствор, заполняющий диафрагму, сжимается и таким образом зажимает нижний всасывающий клапан и открывает верхний нагнетательный; раствор поступает в воздушный клапан и из него в напорную трубу. Растворонасос марки ШН-1 монтируется на раме, устанавливаемой на колесном ходу. Размеры агрегата: длина — 2500 мм, ширина — 1200 мм, высота — 1350 мм и вес — 1500 кг. Максимальная производительность — 6 м³/час. Мощность мотора — 8,2 кВт.

Растворонасос ШН-1 — двухцилиндровый, что дает равномерность подачи раствора: в период засасывания раствора одним цилиндром другой подает раствор в напорную трубу.

Перед началом работы насоса в каждый цилиндр заливается вода через колонку с краном и воронкой (рис. 114). Во время заливки плунжер должен быть доотказа выдвинут из рабочего цилиндра наружу.

Производительность насоса регулируется особым регулятором, причем изменяется не число оборотов, а количество воды, поступающей в полость насоса. При этом, очевидно, изменяется и объем сжатия и расширение диафрагмы. Для снижения давления в трубопроводе каждый из водяных цилиндров снабжен пружинным предохранительным клапаном, через который уходит из цилиндра избыток рабочей жидкости. Таким образом регулируется давление.

Трубопровод состоит из стояков или магистральной линии (металлические трубы) диаметром 100 мм и отводов из резиновых шлангов диаметрами 38, 50 и 65 мм. Растворонасос ШН-1 может подавать раствор на высоту до 25 м. Таким образом, при

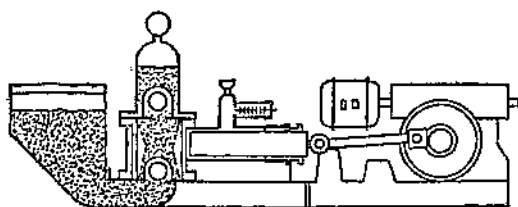


Рис. 114. Схема конструкции двухцилиндрового растворонасоса марки РН-1 системы Д. И. Соколовского и К. М. Соколова.

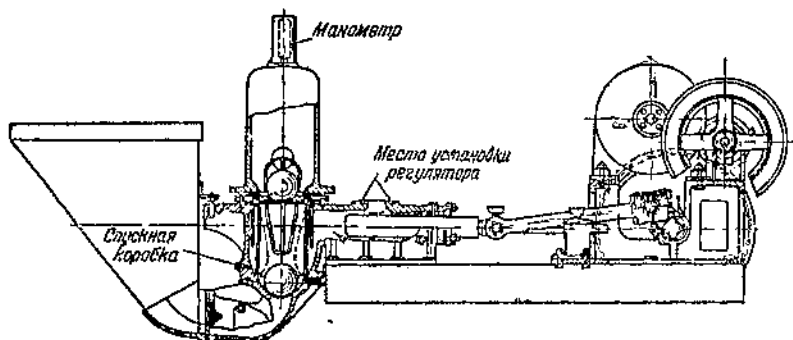


Рис. 115. Схема конструкции одноцилиндрового растворонасоса марки РН-1 системы Д. И. Соколовского и К. М. Соколова.

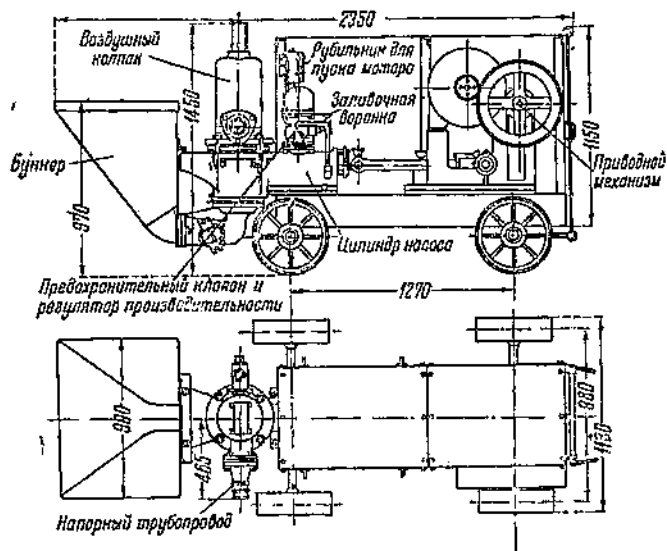


Рис. 116. Общий вид одноцилиндрового растворонасоса марки РН-1 на колесном ходу.

применении растворонасосов является полная возможность разводки трубопроводов для одновременного заполнения раствором нескольких отсеков с каменной наброской.

При производительности растворонасоса 6 м³/час смешение и подача раствора к насосу должны быть механизированы, так как ручной способ при этом условии удовлетворить не может. Растворомешалка и растворонасос должны устанавливаться таким образом, чтобы было вполне обеспечено поступление раствора самотеком из растворомешалки в растворонасос; с этой целью надо либо поднимать растворомешалку, либо опускать в приямок растворонасос.

Принцип действия одноцилиндрового растворонасоса марки РН-1 ничем не отличается от принципа, заложенного в приборе марки ШН-1. Производительность растворонасоса марки РН-1 также составляет 6 м³/час. Габаритные размеры: длина — 3000 мм; ширина — 1000 мм; высота — 1500 мм; вес — 1480 кг.

Сравнивая растворонасосы обеих марок в эксплуатационном отношении, можно сказать, что, несмотря на упрощенную конструкцию растворонасоса РН-1, все же преимущество остается за растворонасосом ШН-1, имеющим два цилиндра. Такая конструкция, кроме равномерности действия насоса, дает еще то преимущество, что, в случае прекращения действия одного цилиндра, работа другого продолжается.

В заключение необходимо заметить, что растворонасосы других систем — механические и пневматические — в настоящее время находятся в стадии разработки и испытаний и практического применения еще не получили.

26. Бетонирование методом восходящей заливки цементным раствором

Примером применения бетонирования методом восходящего цементного раствора может служить разработанный проект устоев, служащих основанием для постройки склада на некоторой глубине акватории порта.

Устои запроектированы следующего устройства. В дно водоема по особой шаблонной раме из рельсов или углового железа забивается куст из четырех железобетонных свай размерами поперечного сечения 40 × 40 см. Сваи находятся на расстоянии

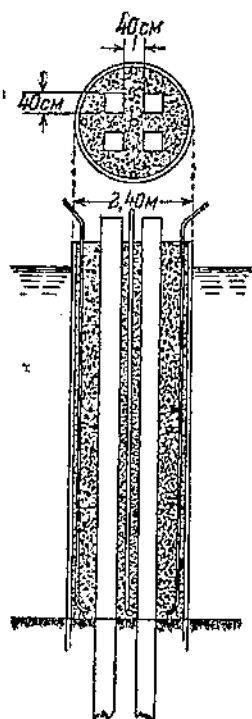


Рис. 117. Свайное основание под устой из четырех железобетонных свай с наружным железным или железобетонным цилиндром, забетонированным методом восходящей цементной заливки.

156

40 см одна от другой (рис. 117). Такой куст свай покрывается железным цилиндром с толщиной стенок 16 мм. Цилиндр обра-
'зуется из звеньев, скрепляемых между собою фланцами на бол-
тах или подводной сваркой. Низ цилиндра с помощью подмыва
погружается водолазами в грунт на небольшую глубину. После
этого вводятся трубки, и все пространство в цилиндре запол-
няется щебнем; затем по трубкам (под давлением) вводится
раствор из чистого цемента или из смеси цемента и каменной
муки.

Приведенные выше примеры применения рассматриваемого
способа убеждают в том, что подводная бутовая кладка без-
условно может быть рекомендована для получения каменных
массивов под водой. Строители скиповой домны Азовстали, ру-
ководствуясь только статьями Schneiders, смело применили
способ подводной бутовой кладки для получения подводного
каменного массива и достигли вполне удовлетворительных резуль-
татов. Поэтому было бы странно теперь, после всех весьма об-
стоятельных, полных и вполне убедительных исследований в ла-
бораториях Свирьстроя и ЦНИИВТа, высказывать какие-либо
колебания и сомнения в целесообразности применения назван-
ного способа во всех тех случаях, когда это вызывается техни-
ческими и экономическими соображениями. Нет никаких сомне-
ний в том, что при знании дела и внимательном его выполнении
будут получены вполне надежные результаты.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Раздел I

Подводное бетонирование

Стр.

<i>Предисловие</i>	3
<i>Введение</i>	5
<i>Глава I. Методы подводного бетонирования с частичным изолированием бетона при его укладке под водой.</i>	14
1. Подводное бетонирование с укладкой бетона насухо	14
2. Подводное бетонирование путем непосредственного погружения бетона в воду	14
3. Подводное бетонирование с помощью подачи бетона под воду в бадьях, мешках и раскрывающихся ящиках	15
4. Подводное бетонирование на малых глубинах с помощью втрамбовывания бетона и отвала бетона от берега	22
5. Бетонирование под водой путем укладки бетона в мешках	24
6. Бетонирование под водой с помощью трубы, перемещающейся в двух направлениях	25
<i>Глава II. Методы подводного бетонирования с полным изолированием бетона при его укладке под водой.</i>	40
7. Подводное бетонирование с помощью трубы, перемещающейся только в вертикальном направлении	40
8. Примеры применения	44
<i>Глава III. Бетононасосы и их применение для подводного бетонирования.</i>	75
9. Бетононасосы, принцип их действия и конструкции	75
10. Бетонирование с применением насосоподачи бетона в комбинации с методом вертикально перемещающейся трубы	86
<i>Глава IV. Лабораторные исследования по вопросам подводного бетонирования.</i>	90
11. Опытные данные	90
12. О подборе бетона для подводного бетонирования	96

Раздел II

Подводная бутовая кладка

<i>Глава V. Обзор развития способов подводной бутовой кладки.</i>	106
13. Общие замечания	106
14. Краткий обзор развития и применения подводной бутовой кладки в СССР	107
15. Работы в Тауфкирхене	117

	Стр.
<i>Глава VI. Исследования в лаборатории ЦНИИВТа</i>	123
16. Общие цель и направление работ	123
17. Подбор пясков определенного гранулометрического состава	125
18. Опыты в мерных цилиндрах; методика и результаты	128
19. Испытания подвижности растворов; методика и результаты	132
20. Сравнение и поверочные испытания цементных растворов, определенных в лаборатории Свирьстроя	135
21. Лабораторные опыты по изготовлению массивов способом подводной бутовой кладки	136
22. Заключение и выводы	145
<i>Глава VII. Примеры осуществленных и запроектированных оснований, выполняемых с помощью подводной бутовой кладки и методом восходящей цементной заливки.</i>	147
23. Заполнение отсеков железобетонного массив-гиганта подводной бутовой кладкой	147
24. Заполнение ряжевых банок подводной бутовой кладкой	149
25. Применение растворовасосов при производстве подводной бутовой кладки	153
26. Бетонирование методом восходящей заливки цементным раствором	156

Ответственный редактор *П. И. Глузгее*
Технический редактор *Ф. С. Селезнева* Корректор *А. И. Исакова*

Сдано в набор 16/IV 1939 г. Подписано к печати 27/VI 1939 г. Тираж 4000.
Формат бумаги $60 \times 92\frac{1}{16}$. Уч.-авт. лист. 11,25. Авт. лист. 11,04. Печ. лист. 10.
Бум. лист. 5. Колич. печатных знаков в бум. листе 101.000. Индекс С-34-5-3.
Заказ № 1310. Ленибгторлит № 3366.

1-я типография Машгиза НКГМ. Ленинград, ул. Мойсесенко, 10.

-305174-

Цена 3 р. 25 к., пер. 75 к.

С-34-Б-3

RLST



0000000029318

1939