

С. Я. ВЫГОДСКИЙ
Р. А. МЕЙЕР
Н. Ф. ХОЦИАЛОВ

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ БЕТОНЫ

ОНТИ • 1937

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	* Должно быть	По чьей вине
32	19 снизу	верхней	верховой	автора
78	7 снизу	300 кг/см ³	300 кг/м ³	"
83	10 сверху	1 см ³	см ³	"
90	3 сверху	ibag	Ibag	редакции
98	21 сверху	40°	— 40°	автора
128	3 снизу	МО	MgO	"
170	9 сверху	рис. 7	рис. 6	"
176	20 сверху	и натяжные устрой- ства	устройства	"
215	8 снизу	л/сек.	л/мин.	"
220	10 сверху	расчета	рычага	"

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ГИДРОТЕХНИКИ

С. Я. ВЫГОДСКИЙ
Р. А. МЕЙЕР
Н. Ф. ХОЦИАЛОВ

ГИДРОТЕХНИЧЕСКИЕ БЕТОНЫ

Цена — 7 р. 50 к., пер. — 1 р. 25 к.



ОНТИ

1937

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ЛЕНИНГРАД · МОСКВА

Ответственный редактор *И. Л. Лейкин*

Сдано в набор 5/1 1937 г.

Формат бумаги 72X105¹/₁₆

Колич. печ. знаков в 1 бум. листе 104 832

Тираж 2250 экз.

Технический редактор *Л. В. Воронцовка*

Подписано к печати 9/II 1937 г.

Учтноавторских листов 27,50

Бум. л. 11

Ленгорлит №632

Заказ №1509

2-я типогр. ОНТИ имени Евгении Соколовой. Ленинград, просп. Красных Командиров, 29.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Современные крупные плотины, гидростанции, судоходные шлюзы, каналы и гидротоннели резко выделяются по объему своих массивных бетонных и железобетонных конструкций среди всех прочих видов промышленных сооружений.

Кубатура бетонных работ отдельных гидрообъектов достигает сотен тысяч и миллионов кубических метров:

Панамский канал.....	3,86	млн. м ³
Канал Волга — Москва.....	2,78	„
Плотина Гувэра (США).....	2,60	„
Днепрогэс	1,15	„
Свирь-ГЭС № 3	0,60	„
и т. д.		

Начатые у нас в Союзе постройкой и проектируемые мощные Волжские и Камские гидростанции и судоходные магистрали Волга — Дон и Волга — Балтийское море потребуют каждая не меньших, а иногда и больших объемов бетонных работ. Транспортно-энергетическое использование речных артерий Сибири еще более повысит масштаб нашего гидростроительства и его удельный вес в общей, невиданной по размаху программе широкой индустриализации нашего социалистического народного хозяйства.

Поэтому нахождение методов массового и быстрого изготовления наиболее экономичного, высокого по качеству и долговечного гидротехнического бетона превращается в одну из основных задач не только союзной гидротехники, но и всего капитального промышленного строительства нашей страны.

Особенности работы гидротехнических сооружений, предназначенных противостоять огромным напорам и скоростям воды, и необходимость получать вполне определенные и однородные свойства колоссальных масс бетона в самых разнообразных и изменчивых по времени природных и строительных условиях обуславливают яркую специфичность технологии гидротехнических бетонов и отличают ее от технологии бетонов, применяемых в других отраслях строительства.

Современное гидростроительство различных континентов и стран характерно разноречивостью технических тенденций в области технологии гидротехнических бетонов.

Союзное гидростроительство развивается, ориентируясь на передовую заграничную, технику и одновременно прокладывая свои самостоятельные пути. Возведение наших гидросооружений сопровождается и крупными достижениями в организации и механизации бетонных работ и неизбежными в каждом большом и новом деле затруднениями в осложнениями.

Мощная волна стахановского движения на наших стройках развязывает инициативу широких масс строителей и настоятельно требует вооружения их новейшей техникой.

Одним из этапов такого охвата новейшей техники являются ознакомление с ней, а также взаимный обмен опытом и широкое развертывание дискуссий.

Преследуя эти цели, Всесоюзный научно-исследовательский институт гидротехники решил систематизировать и опубликовать в печати новейшие данные европейского и американского строительства по возведению бетонных гидросооружений и параллельно с этим с возможной полнотой осветить опыт в этой области наших союзных гидростроек на наиболее характерных примерах.

При выборе этих примеров институт исходил из того, что опыт нашего крупнейшего гидростроительства — Москва-Волгостроя широко освещается на страницах издаваемого им журнала, данные же гидроэнергостроительства НКТП освещены в печати далеко недостаточно.

Стремясь шире охватить разнообразие природной обстановки Союзных гидроэнергостроек и особенности организации бетонных работ при речных и деривационных схемах гидроустановок, институт остановился на опубликовании материалов Свирьстроя и Канакирстроя, только что заканчиваемых строительством. При этом опубликовании институт считал весьма желательным предоставить авторам соответственных очерков наибольшую свободу в освещении имевшегося в их распоряжении материала, чтобы наилучшим образом выявить все индивидуальные особенности бетонного хозяйства выбранных в качестве характерных примеров гидростроительства.

В части сборника, посвященной описанию и анализу заграничного опыта, главное внимание было уделено максимальной сжатости и объективности освещения огромного материала.

К сожалению, по независящим от института причинам технического характера очерк заграничных гидростроительств в основном закончен данными, опубликованными в иностранной техперіодике, кончая 1935 годом.

Издавая настоящий сборник, институт надеется, что, несмотря на его неполноту, он все же окажет существенную помощь нашему гидростроительству и вызовет достаточно широкий взаимный обмен мнениями и опытом на страницах нашей технической печати. Тем самым он будет способствовать установлению правильных технических приемов и методов в области технологии гидротехнических бетонов.

В заключение институт считает необходимым выразить свою благодарность авторам производственных очерков, инженерам Я. Ф. Хоциалову и Р. А. Мейеру за их готовность принять участие в данном сборнике, несмотря на большую занятость работой на строительстве.

Институт считает также необходимым с благодарностью отметить исключительную энергию, проявленную инж. С. Я. Выгодским не только в качестве автора одной из статей, но и в работе по созданию этого сборника в целом и по его опубликованию в печати.

Зам. директора по научной части НИИГ

Проф. В. С. Ваумгарт.

Инж. С. Я. ВЫГОДСКИЙ

НОВЕЙШИЕ ТЕНДЕНЦИИ ЗАГРАНИЧНОЙ ПРАКТИКИ В ОБЛАСТИ ГИДРОТЕХНИ- ЧЕСКИХ БЕТОНОВ

Значительное число выстроенных и находящихся сейчас в постройке за границей гидротехнических сооружений с широким применением бетона потребовало для своего осуществления обширных предварительных исследований и испытаний как в отношении прочности, устойчивости и гидравлических условий работы этих сооружений, так и в отношении определения необходимых свойств бетонов, применяемых в этих сооружениях. Исследования эти, исходя из весьма значительных размеров сооружений и необходимости оперировать в относительно сконцентрированном пространстве с огромными массами бетона, вскрыли целый ряд специфических, подчас совершенно новых, вопросов технологии и методики гидротехнических бетонов. Результаты этих исследований имели за границей большое влияние на организацию и осуществление производства работ, а отсюда и на конструирование и проектирование самих сооружений. Указанные работы не могут не оказать влияния и на нашу гидротехническую строительную практику, особенно учитывая грандиозность стоящих перед нами в этой области задач.

Поэтому осветить эту проблему, подобрав имеющийся по ней на разных языках печатный материал, классифицировать и проработать его по главнейшим вопросам, связанным с методикой гидротехнических бетонов, дополнить выводами и характеристиками, применительно к нашим советским условиям и, наконец, в сжатом виде представить вниманию широкого круга инженерно-технических работников для ознакомления и рационального использования, — вот задача, выполнение которой явилось целью настоящего очерка,

Его составлению предшествовал разбор иностранной технической литературы за последние 4—5 лет на немецком, французском, английском и итальянском языках. Размеры очерка естественно ограничили наше изложение и заставили нас коснуться лишь основной труппы гидротехнических бетонов, применяемых в бетонных плотинах и массивах. При этом были рассмотрены лишь главнейшие новые сооружения этого рода, характерные в отношении конструкций, производства или организации работ. Для удобства, и систематизации изложения указанные сооружения рассмотрены применительно к отдельным странам.

Глава 1

БЕТОННЫЕ ПЛОТИНЫ США

§ 1. Усадка бетона и основные мероприятия по борьбе с пей

За последние 7—10 лет в США построены и заканчиваются постройкой следующие бетонные плотины (табл. 1):

Таблица 1

Наименование плотины	Тип	Наибольшая высота в м	Время постройки (или окончания)
Гибсон (Монтана).....	Арочная	59,5	1926—1928 гг.
Вотервиль (С. Каролина).....		61	
Вуль-Ран.....	Гравитационная	61	1929 г.
Норрис (Теннеси).....		72	
Кушман (Вашингтон).....	Арочная	85	В постройке 1925—1927 гг.
Ариель (Вашингтон).....		95	
Пайн-Кэннон (Калифорния)	Гравитационная	98	Начата в 1932 г. 1931—1932 гг.
Парди (Калифорния)		108	
Эксчекер (Калифорния).....	Арочная	110	1924—1926 гг.
Покоима (Калифорния)		116	
Оуахи (Айдаго).....	Гравитационная	124	1932 г.
Дайабло		129,8	
Ваульдер (Невада).....	Гравитационная	223	В постройке

При рассмотрении настоящей таблицы ¹⁾²⁾ выявляется тенденция американской практики к постройке высоких (выше 100 м) плотин с постепенным возрастанием этой величины вплоть до последней ныне строящейся плотины Ваульдер, где h достигает предельной пока величины в 223 м.

Указанная особенность (значительная высота плотины) представляет собой максимальные возможности в отношении регулирования стока и, увеличивая объем водохранилища, делает, таким образом, высокие плотины экономически выгодным вариантом. В отношении же производства работ по укладке таких масс бетона к на такую высоту вопрос явился совершенно новым, и вполне естественно, что к нему в США подошли с большой осторожностью. Были организованы обширные исследования и опыты для выявления основных требований, какие нужно предъявлять к такому «массовому» бетону, и тех вопросов и явлений, с которыми приходится сталкиваться при его укладке и твердении. В этом отношении основным вопросом явилась усадка бетона, т. е. явление изменения объема его под влиянием: а) отдачи тепла, выделяемого при схватывании и твердении и б) высыхания бетона при соприкосновении с наружным воздухом. Уменьшение объема бетона — соответственно теплоотдаче — происходит от краев к середине массива до тех

1) Ф. Г у б и н, Современное гидроэлектростроительство США, 1934.

2) E. M a r q u a r d t; Die Diablo-Talsperre (Beton u. Eisen, № 20, 1931).

лор, пока повсюду не установится средняя годовая t° ¹⁾. В случае, если это изменение объема встречает где-либо препятствие — возникают напряжения и часто трещины, опасные не столько в отношении статическом, сколько в отношении образования путей для фильтрации. Величина напряжений, возникающих при усадке, определяется следующей зависимостью. В гравитационной плотине прямолинейного направления, если вообразить ее временно без швов, всякое стремление к укорочению (при усадке) в продольном направлении целиком должно уравниваться работой внутренних сил деформации. Если через ΔT обозначить разницу температур схватывания и средней годовой, а через α_t — коэффициент теплового расширения бетона, то величина усадки:

$$E_t = -\alpha_t \cdot \Delta T.$$

С другой стороны, растяжения по закону Гука

$$E_b = +\frac{\sigma}{E}.$$

Так как

$$E_t + E_b = 0,$$

то

$$\sigma = E \cdot \alpha_t \cdot \Delta T.$$

С учетом пластических деформаций в свежем бетоне, задаваясь наименьшим значением модуля упругости $E = 100\ 000 \text{ кг/см}^2$ и $\alpha_t = 1/100000$, получим следующую простую формулу²⁾:

$$\sigma = \Delta T \text{ кг/см}^2. \quad (1)$$

Изучение за последние годы явления образования тепла при схватывании больших бетонных массивов с применением термометров сопротивления и телеметров установило возможность повышения температуры при этом на 25—35° С.

Исходя из этого, мы на основании формулы (1) можем заключить, что при усадке возможны растягивающие напряжения в 25—35 кг/см², которые без устройства шва безусловно могут вызвать трещины в бетонных массивах. При этом кривизна оси гравитационных плотин, нередко применяемая на практике для придания сооружению добавочной прочности (уже в качестве арки), отнюдь не понижает усадочных напряжений и не освобождает от необходимости устройства швов. Исходя из вышесказанного, следует ожидать возникновения трещин в первую очередь по плоскости основания и затем по плоскостям перерывов бетонирования.

Швы расширения, устраиваемые в бетонных плотинах, могут замыкаться инъекцией жидкого цемента или цементного раствора через определенные промежутки времени. Метод инъекции швов, примененный в большом количестве плотин (арочных и гравитационных) в США, представляет собой на сегодня один из действительнейших и надежных

¹⁾ Prof. F. Tölke, Über Schwinden, Rissbildung, Rissicherung und Kühlmassnahmen bei Massenbeton unter besonderer Berücksichtigung massiver Staumauer (D. W., № 7, 1934).

²⁾ См. F. Tölke, Über Schwinden, Rissbildung, Rissicherung und Kühlmassnahmen bei Massenbeton unter besonderer Berücksichtigung massiver Staumauer (D. W., № 7, 1934).

способов устранения укорочения от усадки. Однако это не прямой путь; прямым путем борьбы с продольным укорочением является полное или частичное удаление тепла от схватывания в первые же недели твердения, когда еще возможны пластичные деформации в больших пределах.

Первым шагом по этому пути явилось применение охлаждения швов. Впервые это было применено при постройке плотины «La Jagne» (арочная плотина 55 м в Швейцарии; время постройки 1918—1921 гг.). В швах с этой целью оставалась незаделанной сквозная штраба шириной 1 м, которая была закрыта лишь через 2 месяца. Благодаря этому воздух обтекал блок со всех 4 сторон. Этот срок, однако, оказался малым и уже на плотине Гримзель (арочная плотина высотой в 114 м в Швейцарии; время постройки 1928—1932 гг.) незаделанные швы частично выдерживали до 2 лет. Эффект охлаждения обратно-пропорционален длине блоков — отсюда стремление в современной практике постройки бетонных плотин к укорочению блоков — см. сравнительную табл. 2 ¹⁾). Несоввершенством такого метода является то, что при этом охлаждение мало касается ядра бетонного блока. Поэтому в новейшее время стали применять для охлаждения бетонных массивов текущую воду о помощью труб, проходящих -сквозь тело бетона. Это дает возможность распространить охлаждающее действие до ядра,

Таблица 2

Наименование плотины	Время постройки	Наибольшая высота в м	Расстояние между швами в м
Вэггиталь (Швейцария).....	1922—1924 гг.	109	32
Шварценбах (Германия).....	1922—1925 гг.	(57)	36-27
Эгюзон (Франция).....	1921—1924 гг.	(51)	30
Барберин (Швейцария).....	1921—1925 гг.	80	25
Кушман (США).....	1925—1927 гг.	85	22,8
Крибштейн (Германия).....	1927—1930 гг.	28,25	20—25
Дайабло (США).....		129,8	22—36
Сувиана (Италия).....		89,5	18—20
Норрис (США).....		72,0	17
Пак (Австрия).....	в постройке окончена в 1931 г. окончена в 1929 — 1930 гг.	33,2	14,6—25,6
Вотервиль (США).....		61	15
Ст. Марк (Франция).....	1927—1930 гг.	43,5	15
Сарранс (Франция).....	окончена в 1934 г.	112	15
Оуахи (США).....	окончена в 1932 г.	124	15,2
Ваульдер (США).....	в постройке	223	15,2
Марез (Франция).....	”	100,5	13
Вуль-Ран (США).....	окончена в 1929 г.	61	12
Чубук (Турция).....		25	12-14
Гримзель (Швейцария).....	окончена в 1932 г.	114	12—15
Ариель (США).....	окончена в 1931 г.	95	10

В широких пределах этот способ водяного охлаждения применен при сооружении Баульдеровской плотины (б. Гуверовской), входящей

¹⁾ E. M a r q u a r d t, Die Diablo-TalepeTre (Beton u. Bisen, N 20, 1931).

²⁾ Проф. F. To I k e, Cber Schwinden, Rissbildung, Rissicherung und Kühlmassnahmen bei Massenbeton unter besonderer Berücksichtigung massiver Staumauer (D. W., № 7. 1934).

в состав крупнейшего современного гидростроительства на р. Колорадо, расположенного на границе штатов Аризона и Невада, в юго-западной части США. Означенная установка с запроектированной мощностью 1 800 000 ЛС была начата постройкой в 1930 г. Она представляет собой во всех своих составных частях наиболее крупные сооружения из где-либо осуществленных, в настоящее время. Работы на этой постройке ведутся под руководством крупнейшей американской правительственной организации, а именно — Ирригационного бюро (Bureau of Reclamation). Размеры строящейся бетонной плотины [наибольшая высота — 223 м при ширине основания — 198 м (рис. 1а) и общая кубатура подлежащего укладке бетона — свыше — 2,5 мил. м³] дозволили в весьма широких пределах поставить специальные опыты по бетону. Описаниям этого строительства, вообще, и этих исследовательских работ, в частности, посвящено весьма значительное количество печатных трудов на всех европейских языках за последний несколько лет. Переходя к изложению этого вопроса на основании указанных данных, мы в первую очередь воспользуемся материалами Ирригационного бюро¹⁾, представляющими в части исследований значительную научную ценность.

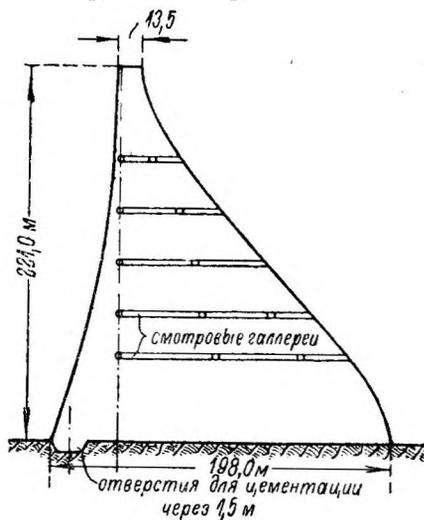


Рис. 1а. Плотина Баульдер — поперечный разрез.

§ 2. Применение специальных цемента для борьбы с усадочными явлениями на плотине Баульдер

Итоги последних работ по возведению современными темпами высоких плотин из бетона с учетом значительных укладываемых бетонных масс, выделяющих при своем схватывании и твердении большое количество тепла, неизменно приводили к факту увеличения объемных изменений в бетоне, а следовательно, — к увеличению, количества и величины усадочных трещин. При постройке любого типа крупной плотины следует различать 2 основные проблемы: во-первых, спроектировать сооружение, обеспечивающее надлежащее распределение напряжений и, во-вторых, осуществить этот проект на практике так, чтобы распределение напряжений в законченном сооружении точно соответствовало тому, что было предусмотрено в проекте, иными словами — *добиться вполне монолитного сооружения.*

По мере выделения тепла при схватывании бетона оно будет передаваться от ядра к наружным поверхностям, где происходит то или иное рассеивание тепла путем отдачи его в окружающую среду, сопровождаю-

¹⁾ В у р а м W. S t e e l, Mass Concrete for Boulder Dam (Eng. News-Record № 25, 1933)
 S a v a g e J o h n L., Hoover Dam Cement specification (Eng. News-Rec., № 19, 1932),
 B l a n k s R., Boulder Dam Cement and Concrete Studies. (Eng. News-Rec., № 21, 1934).

шееся охлаждением внешних поверхностей бетона. Процесс выравнивания температуры бетонного массива от поверхности к ядру с температурой окружающей среды — в результате указанной теплоотдачи — протекает весьма медленно. До полного окончания его мы будем иметь охлаждение (по сравнению с ядром) и сжатие наружных поверхностей, иными словами — получим указанные выше нежелательные изменения объема, ведущие к перенапряжениям в бетоне, со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Одним из важнейших мероприятий, принятых на постройке плотины Баульдер, для уменьшения и сведения к минимуму объемных изменений бетона, помимо описанных в § 1 было применение специально выработанного сорта цемента с малым выделением тепла (экзотермией) при схватывании. Против нормального портланд-цемента он обладает следующими свойствами:

1) количество выделяемого им. при схватывании тепла на $\frac{1}{3}$ меньше:

2) значительно лучшая удобообрабатываемость приготовленного на нем бетона, при меньшем водоцементном отношении $\frac{W}{C}$ (0,597 против 0,642 при применении нормального портланд-цемента) благодаря более тонкому помолу;

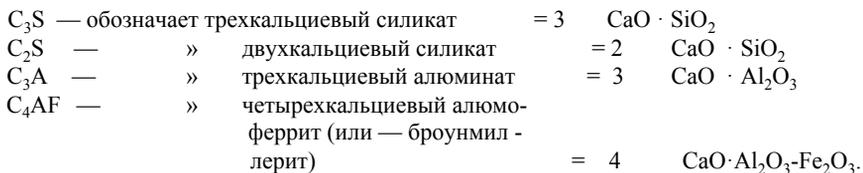
3) более медленное нарастание прочности, но большая окончательная прочность бетона.

Для выработки постоянных технических условий на производство цементов с малым выделением тепла были проделаны обширные исследования и опыты под руководством J. Savage'a, главного проектного инженера Ирригационного бюро.

Данными этих опытов установлено, что влияние главнейших составляющих в портланд-цементе на образование тепла следующее: Образование тепла —

$$H_{t \text{ в ккал}} = 1,32\% (C_3S) + 0,43\% (C_2S) + 2,54\% (C_3A) + 0,23\% (C_4AF),$$

где:



Из приведенной ф-лы видно, что уменьшение образования тепла при схватывании достигается уменьшением, содержания в цементе трехкальциевого алюмината и трехкальциевого силиката.

Вырабатываемый на основе этих положений специальный цемент с малым образованием тепла¹⁾ при схватывании и твердении доставляется на строительство с 4 заводов Южной Калифорнии. Чтобы унифицировать и сгладить возможную неоднородность в составе и цвете отдельных сортов цемента, введено специальное устройство для предварительного перемешивания отдельных сортов цемента; затем уже перемешан-

1) В дальнейшем изложении для краткости будем цементы с малым теплообразованием (low heat) называть цемент М. Т. О., или низко-температурный, в отличие от цементов с большим теплообразованием (high heat), которые назовем В. Т. О. или нормальные и стандартные портланд-цементы.

а) Физические свойства

Сорт цемента	Процент прохождения через сито с 200 отвер- стиями ¹⁾	Удельная поверхность $\frac{S}{V}$	Удельный вес	Начало схватывания (часы и минуты)	Конец схватывания (часы и минуты)	Нормальная консистен- ция цементного теста	Водоцемен- тное отно- шение $\frac{W}{C}$ по весу	Сплыв в дюймах (см) $\left(\frac{W}{C} = \text{const}\right)$			
								1:2,9 — пла- стичный ра- створ	1:5,2 — бе- тон (макс- имальная крупность зерен $3/4''$) (1,9 см)	1:5,75 — бе- тон (макс- имальная крупность зерен $11/2''$) (3,8 см)	1:9,5 — бе- тон (макс- имальная крупность зерен $6''$) (15,2 см)
Стандартный портланд- цемент (средний из 6 сортов цемента)	93,9	1795	3,16	3,15	5,40	23,3	0,54	1 1/2 (3,8)	3 (7,6)	4 7/8 (12,4)	2 1/2 (6,4)
Низко-температурный цемент (средний из 10 сортов цемента)	94,6	1950	3,16	2,35	5,05	22,6	0,54	2 (5,1)	3 (7,6)	4 3/4 (12,1)	2 3/4 (7,0)

1) Примерно 6200 $\text{отв}/\text{см}^2$.

Таблица 4

б) Химический состав

Сорт цемента	Химический анализ							Составные части			
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Потери при прокаливании	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
Стандартный портланд-цемент (средний из 6 сортов) . .	21,8	6,2	2,9	63,8	2,6	1,7	1,1	40	32	12	8
Низко-температурный цемент (средний из 10 сортов) .	23,8	5,2	4,6	60,5	2,8	1,9	1,2	18	54	6	14

ный и совершенно однородный цемент помощью пневматического устройства 9" (22,9 см) трубами подается на бетонные заводы. Это перемешивание цементов, естественно, влияет и на увеличение однородности получаемого бетона.

Физические свойства низко-температурного цемента на плотине Баульдер практически идентичны со свойствами стандартного портланд-цемента. Главнейшая разница, как уже указано было выше, в том, что низко-температурный цемент обладает большей тонкостью помола и дает бетон более высокой удобообрабатываемости. При этом следует иметь в виду, что тонкость помола определяется удельной поверхностью, т. е. общей поверхностью 1 г цемента, выражаемой в $см^2/г$. Измеряется она специальным прибором — «турбидиметром», в котором свет постоянной силы пропускается через цемент, находящийся во взвешенном состоянии и улавливается фотоэлементом. Возникающий там ток измеряется специальным микроамперметром. Опирируя сначала с цементами определенных тонкостей помола, можно легко составлять переводную шкалу для разных показаний микроамперметра, с помощью которой становится вполне возможным определение удельной поверхности любых цементов.

Сравнительные физические свойства и химический состав стандартного портланд и низко-температурного цементов даны в табл. 3 и 4.

При испытании цементов на прочность испытания на растяжение цементного раствора 1 : 3 заменили испытаниями над бетонными цилиндрами размера 3" X 6" (7,6 X 15,2 см), изготовляемыми из бетона с максимальной крупностью инертных в $\frac{3}{4}$ " (1,9 см). Состав этого бетона по весу — 1 часть цемента на 5,2 части инертных материалов; при этом консистенция соответствует осадке в 3" (7,6 см) нормального конуса. Цилиндры при стандартном хранении должны давать временное сопротивление: на 7-й день—70 $кг/см^2$ и на 28-й день — примерно 140 $кг/см^2$.

Требования к теплообразованию при гидратации цемента сводятся к лимитам: 60 кал/г цемента на 7-й день и 70 кал/г — на 28-й день. Приводимые ниже результаты сравнительных испытаний прочности и величины теплообразования представляют собой средние значения, полученные для 6 сортов стандартного портланд-цемента и 10 сортов низкотемпературных цементах (с малым теплообразованием).

Сравнительные испытания на прочность производились для образцов двух серий (в зависимости от способа их хранения).

а) *Стандартное хранение*, т. е. нормальное хранение во влажных помещениях (камерах) при температуре в 70° Ф¹⁾ (21° С) — оптималь-

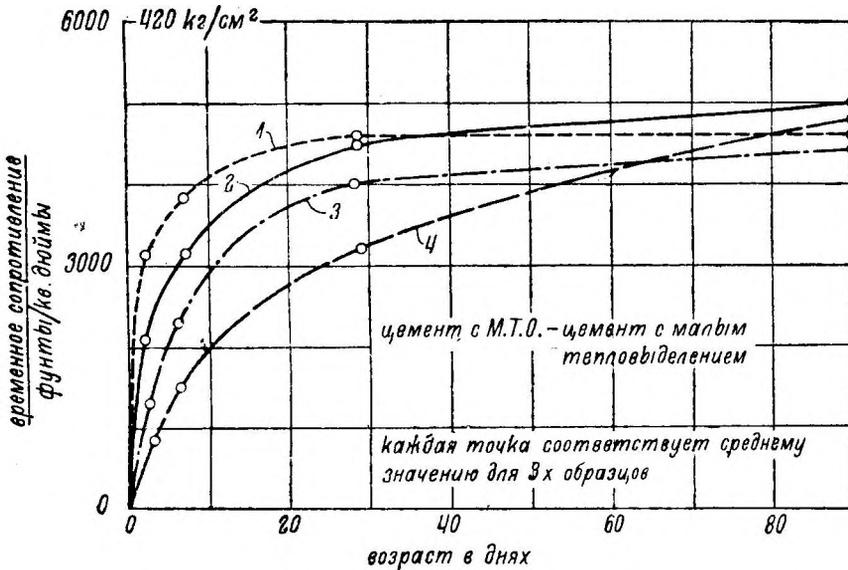


Рис. 16. Временное сопротивление бетонов и растворов на нормальных портланд-цементах и на цементах с М. Т. О.

1 — нормальный портланд-цемент—adiaбатическое хранение, 2 — нормальный портланд-цемент — нормальное хранение, 3 — цемент с М. Т. О. — adiabатическое хранение, 4 — цемент с М. Т. О. — нормальное хранение.

ной температуре для твердения бетона по американским нормам, аналогично нашей нормальной температуре в 15° С.

б) *Адиабатическое или массовое хранение* (mass curing), т. е. хранение бетона в условиях, аналогичных твердению внутренних частей бетонного массива, без притока тепла извне. Такое хранение образцов осуществлялось хранением их в запечатанных коробках из тонкого металла, — в adiabатических калориметрических камерах в течение первых 28 дней, а затем остальное время до 90 дней — при температуре в 70° Ф (21° С). Самые образцы для испытания прочности на сжатие применялись: а) для пластичного цементного раствора 1 : 3—цилиндры размером 2" X 4" (5,1 X 10,2 см), б) для бетона — цилиндры размером 3" X 6" (7,6 X 15,2 см) с предельной крупностью зерен гравия до 3/4" (1,9 см) и размером 6" X 12" (15,2 X 30,5 см) с предельной крупностью таковых до 1 1/2" (3,8 см).

1) Шкала Фаренгейта.

Результаты испытаний (рис. 1) показывают и подтверждают уже раньше описанный характер нарастания прочности для цементов с малым теплообразованием. В самом деле прочность их, вначале меньшая по сравнению со стандартными порланд-цементом и, постепенно плавно нарастает и примерно через 90 дней приблизительно одинакова для обоих сортов цемента, в то время как стандартный порланд-цемент дает более высокую прочность вначале.

Результаты сравнительных исследований возрастания температуры и выделения тепла при гидратации нормальных стандартных порланд-цементов и цементов с малым теплообразованием представлены на рис. 2. Из рисунка следует, что стандартный порланд-цемент при

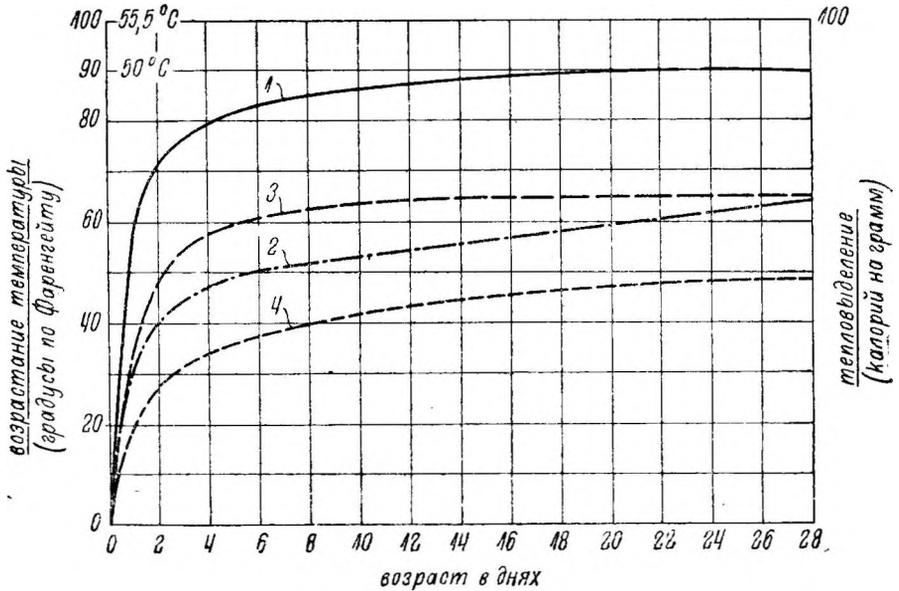


Рис. 2. Возрастание температуры и тепловыделение (экзотермический процесс) для нормальных порланд-цементов и цементов с М. Т. О.

1 — тепловыделение нормальных порланд-цементов, 2 — тепловыделение цемента с М. Т. О., 3 — возрастание температуры нормального порланд-цемента, 4 — возрастание температуры цемента с М. Т. О.

своем твердении выделяет на 28-й день до 90 кал/г с повышением температуры на 65° Ф (примерно на 36° С), в то время как низко-температурный цемент на 28-й день дает примерно 04 кал/г о соответствующим повышением температуры на 48° Ф (примерно 27° С).

Сравнительные испытания производились на цилиндрах 17 X 17" (43,2 X 43,2 см), хранившихся в адиабатических условиях.

§ 3. Характеристика бетона и описание производства работ помощью кабельных кранов при пластичных бетонах на плотине Баульдер

Бетон для плотины Баульдер был принят в результате длительных опытов с учетом всех вопросов, связанных с прочностью, водонепроницаемостью и долговечностью, — с содержанием цемента в 1 бочку (примерно 171 кг) на 1 куб. ярд, т. е. в 225 кг/м³.

Аризонский гравийный карьер, снабжавший строительство инертными материалами, представлял собой отложения хорошо закругленных частиц хорошего качества в отношении минералогического состава. Песок в большинстве был кварцевый, а гравий состоял, главным образом, из известняка, перемешанного с гранитом, базальтом и кварцитом. Весь этот материал весьма чистый не содержал в себе органических загрязняющих примесей.

Средний гранулометрический состав отложений предварительно определялся помощью пробных шурфов; он представшей на табл. 5 и 6. При предварительных опытах в Денверской лаборатории, благодаря применявшимся там больших размеров испытательным цилиндрам до 35 X 72" (91,5 X 183 см), а затем уже и при окончательном приготовлении бетона для плотины Баульдер, гранулометрический состав гравия лишь незначительно изменялся по сравнению с естественной грануляцией, а именно: уменьшалась посредством промывки фракция мелко-зернистого песка (сито № 48) и подвергались дроблению фракции, не прошедшие через 9" (22,9 см) сито.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что процент содержания цементного теста — 19,5%, тогда как общий процент пустот в смеси агрегатов равен 17%. При условии плотного гранулометрического состава, примененного для бетона плотины Баульдер, вышеприведенный фактор свидетельствует о достаточной плотности бетона.

Стремление к получению максимально-однородного бетона соответственно вышеуказанной характеристике отражено в технических условиях для плотины Баульдер и выразилось в следующих мероприятиях:

1) в тщательной организации дозировки материалов по весу, осуществляемой автоматически с графической регистрацией (времени взвешивания и фактического количества каждого отдельного взвешенного ингредиента;

2) в особом внимании к дозировке воды с автоматическим учетом влажности инертных и

3) в строгом контроле консистенции замесов для получения полной их однородности.

Для выполнения этого все бетономешалки были снабжены автоматическими измерителями, отмечающими консистенцию бетонной массы в период ее нахождения в бетономешалке. При этом, учитывая неизбежный промежуток времени между приготовлением бетона и его укладкой, а также сухость воздуха на месте работ, бетой в бетономешалке имел несколько большую величину сплыва,

Требование *однородности* бетонной массы, являющейся одним из главных факторов долговечности сооружения, в соответствии с условиями производства бетонных работ распадается на 3 части:

1) требование полной однородности составов и замесов;

2) требование полной однородности укладки и проработки бетонной массы в сооружении и

3) требование однородности ухода за свежеложенным бетоном, исходя из местных климатических условий, типа сооружения и свойств бетона. Первое требование на плотине Баульдер было осуществлено, как уже упоминалось выше:

1) полной механизацией и автоматизацией всех процессов, связанных с дозировкой по весу составляющих бетон материалов;

2) особо точной дозировкой воды в бетоне с учетом влажности инертных материалов (иноундаторы);

Таблица 5

Гранулометрический состав инертных для бетона
плотины Баульдер (сита по стандартн. набору США)

Размер отверстий сит в см	Песок		Гравий		Смесь	
	Частные остатки в %	Полные остатки в %	Частные остатки в %	Полные остатки в %	Частные остатки в %	Полные остатки в %
9" = 22,9 см	—	—	0	0	0	0
6" = 15,2 "	—	—	9,41	9,41	6,98	6,98
3" = 7,6 "	—	—	21,61	31,02	16,04	23,02
1 1/2" = 3,8 "	—	—	23,48	54,50	17,41	40,43
3/4" = 1,9 "	—	—	20,63	75,13	15,31	55,74
3/8" = 1 "	—	—	14,63	89,76	10,85	66,59
№ 4	—	—	10,24	100,00	7,60	74,19
№ 8	17,01	17,01	—	—	4,89	78,58
№ 14	11,63	28,64	—	—	3,00	81,58
№ 28	15,03	43,67	—	—	3,88	85,46
№ 48	41,54	85,21	—	—	10,72	96,18
№ 100	12,34	97,56	—	—	3,19	99,37
< № 100	2,44	100,00	—	—	0,63	100,00
Всего . .	100,00	Модуль крупно- сти=2,72	100,00	Модуль крупно- сти=8,60	100,00	Модуль крупно- сти=7,08

Таблица 6

Состав и характеристика бетона для плотины Баульдер

а) Состав бетона: 1 часть цемента на 9,5 частей инертных материалов

Наименование составных частей	Размер в см	Состав в частях по весу	Вес в су- хом со- ставе в м/м ³	Удель- ный вес	Процент пустот
Цемент	—	1,00	—	—	—
Песок	—	2,45	1,76	2,64	33
Мелкий гравий	0,6—1,9	1,75	—	—	—
Средний гравий	1,9—3,8	1,46	—	—	—
Крупный гравий	3,8—7,6	1,66	—	—	—
Булыжник	7,6—22,9	2,18	—	—	—
Весь гравий (сумма всех его фракций)	—	—	1,94	2,69	28
Все инертные (гравий + песок) .	—	—	2,20	2,67	17
Вода	—	0,54	—	—	—

б) Характеристика бетона:

вес 2 500 кг/м³
 $\frac{W}{C}$ по весу 0,54
 содержание цементного
 теста 19,5%
 постоянная Пуассона 0,18

сплыв 3 1/4" (8,3 см)
 предельное содержание
 цемента 225 кг/м³
 модуль упругости 365 000 кг/см²
 временное сопротивле-
 ние на сжатие на
 28-й день цилиндра
 36X72" (91,5X183 см) 217 м/см²

3) проверкой и контролем консистенции каждого замеса в период нахождения его в бетономешалке и, наконец,

4) применением для получения бетонной массы хорошо и основательно исследованных материалов неизменной однородности. В отношении второго требования — достижения полной однородности при укладке — надо сказать следующее. Главной активной силой при производстве работ по возведению плотных бетонных массивов является несомненно сила тяжести, определяемая весом самой бетонной массы. Шурование этой массы лопатами и шуровками, обработка ее ногами, трамбовками и др. и, наконец, вибрирование ее — все эти методы *помогают* силе тяжести в деле получения минимальных объемов путем лучшего расположения частиц, составляющих бетонную массу, и удалением вошедшего в нее воздуха.

В этом отношении в современной практике постройки бетонных плотин и массивных сооружений из бетона намечаются 2 тенденции:

1) применять бетонной малопластичных консистенций, определяемых опльвом в $1-1\frac{1}{2}''$ (2,5 — 3,8 см), о требовании более усиленной его проработки и применения -вибрации и

2) применять бетон большей пластичности за счет возможности при этом значительно увеличивать порции укладываемого бетона, с отказом в ряде случаев (частичным или полным) от применения вибрации. Многочисленные испытания к Денверской лаборатории Ирригационного бюро с несомненностью установили все преимущества внутренней вибрации бетона, как основного метода уплотнения и проработки бетонной массы при применении мало-пластичных консистенций бетона.

Тем не менее, Ирригационное бюро решило отказаться от применения вибрации бетона с величиной опльва примерно $1\frac{1}{2}''$ (3,8 см) и приняло консистенцию бетона со опльвом в $3''$ (7,6 см) в силу следующих соображений. Бетонная масса, со спльвом в $1\frac{1}{2}''$ (3,8 см) вполне практична и способна дать бетон высокого качества при условии надлежащей его укладки и уплотнения. По опытам Ирригационного бюро он имеет все преимущества -при укладке его порциями в $1\frac{1}{2}$ — 2 куб. ярда (примерно $1-1\frac{1}{2}$ м³). Базируясь же на необходимости (в силу, главным образом, экономических соображений) укладывать бетон 8 куб. ярд. (0,15 м³) ковшами, а также на местных климатических условиях (жаркий и сухой климат) — Ирригационное бюро произвело испытания различных консистенций бетона со спльвами от $1''$ (2,5 см) и выше в реальных производственных условиях (т. е. оперируя с ковшами вместимостью 8 куб. ярдов (6,15 м³)).

На основании этих испытаний окончательно остановились на величине спльва в 7,6 см, применяя вибрацию лишь при проработке углов и малодоступных частей сооружения. Такому решению, безусловно, нельзя отказать в логичности и последовательности, особенно сопоставляя его со всей производственной и организационной схемой строительства Баульдеровской установки. В этих условиях, несомненно, *возможные преимущества в отношении прочности при применении более сухих* (менее пластичных) смесей *в значительной степени аннулируются повышенной стоимостью укладки*, благодаря большей жесткости бетона и связанной с этим тенденцией к неоднородности вследствие уменьшенной пластичности. Необходимо подчеркнуть, что в наших советских условиях при бетонировке массивных плотин рассматриваемый вопрос является весьма серьезным и основным вопросом. Правильное его решение означает увязку и согласование всех производственных усло-

вий, а именно: свойств zaproектированного бетона, принятой конструкции плотины, имеющегося механического оборудования, климатических условий данной местности и необходимых сроков окончания работы¹⁾.

Отдавая предпочтение применению вибрации бетонов с вытекающими отсюда возможностями (однородность бетонного массива с одновременным уменьшением расхода цемента), мы, тем не менее, считаем необходимым подчеркнуть недостаточность пока у нас данных о степени

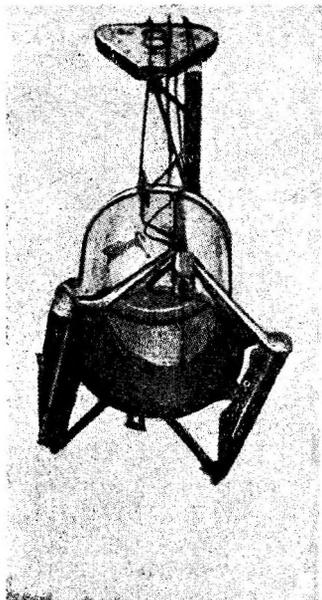


Рис. 3. Ковш кабельного крана для бетона емкостью в 8 куб. ярдов ($6,15 \text{ м}^3$).

экономичности применения жестких бетонных смесей, при условии вибрирования их, по сравнению с применением несколько более пластичных бетонов с умеренным все же содержанием цемента, укладываемых либо без вибрирования, либо с частичной вспомогательной вибрацией. Окончательное решение должно быть принято на основании подробного рассмотрения обоих методов производства работ с учетом всех местных условий.

Возвращаясь к описанию производства работ на плотине Баульдер, отметим, что остановившись, таким образом, на вышеуказанной консистенции бетона (спływ в $7,6 \text{ см}$), как наиболее обеспечивающей, по мнению Иригационного бюро, однородность бетонной массы при ее укладке, обратили далее внимание на обеспечение неизменяемости бетонной массы при ее транспортировке и выгрузке. Для этого остановили на ковшах емкостью в $6,15 \text{ м}^3$ с раздвижным дном (рис. 3). Этим мероприятием по заключению Иригационного бюро в максимальной степени гарантирована возможность избежать расслаивания бетонной массы. При этом наибольшая допустимая по техническим условиям высота опораживания ковшей (падения бетона) установлена для

плотины Баульдер в $1,5 \text{ м}$ (рис. 4). Транспортировка ковшей осуществлялась пятью кабельными кранами мощностью по 22 т каждый (вес 1 ковша с $6,15 \text{ м}^3$ бетона = 15 т) (рис. 5). Общая подача бетона, которая должна быть выполнена всеми 5 кабельными кранами, составляла около 3 млн. м^3 . Объем работ их в сутки составлял в среднем при трехсменной работе — 5000 м^3 . Весь бетон изготовлялся на 2 бетонных заводах, из которых нижний, оборудованный $6(4 + 2)$ бетономешалками емкостью по 3 м^3 каждая, изготовлял бетон для первых 95 м но высоте плотины: верхний бетонный завод с 4 бетономешалками по 3 м^3 каждая служил для бетонирования верхней части плотины (рис. 6)^{2) 3) 4)}.

¹⁾ Примером применения вибрации бетона у нас в Союзе могут служить работы Днепростроя, Свирьстроя и строительства канала Москва—Волга.

²⁾ W. Franke, Die Förderanlagen beim Bau der Boulder-Staumauer. (Der Bauingenieur, № 25/26, 1935).

³⁾ H. Rohde, Neuzzeitliche Baumethoden hei der Ausföhrung des Hooverdam—Projektes. (Der Bauingenieur, S. 354. 1933).

⁴⁾ H. Rohde, Fortschritte beim Bau der Boulder Dam-Sperre. (Der Bauingenieur, № 11/12, 1934).

Для придания необходимой и достаточной водонепроницаемости бетонному массиву помимо мероприятий и опытов по обеспечению, по выражению В. W. Steel'я, *потенциальной водонепроницаемости бетона* при гидростатических условиях плотины Баульдер, было обращено особое внимание на места в перерывах бетонирования. Как показывают многочисленные опыты разных стран, в этих местах именно и имеют, главным образом, место фильтрационные явления, сводящие к нулю все мероприятия по получению водонепроницаемого бетона. Причиной возникновения указанных явлений служит либо образование пленки из цементного молока, мешающей дальнейшему соединению слоев бетона,

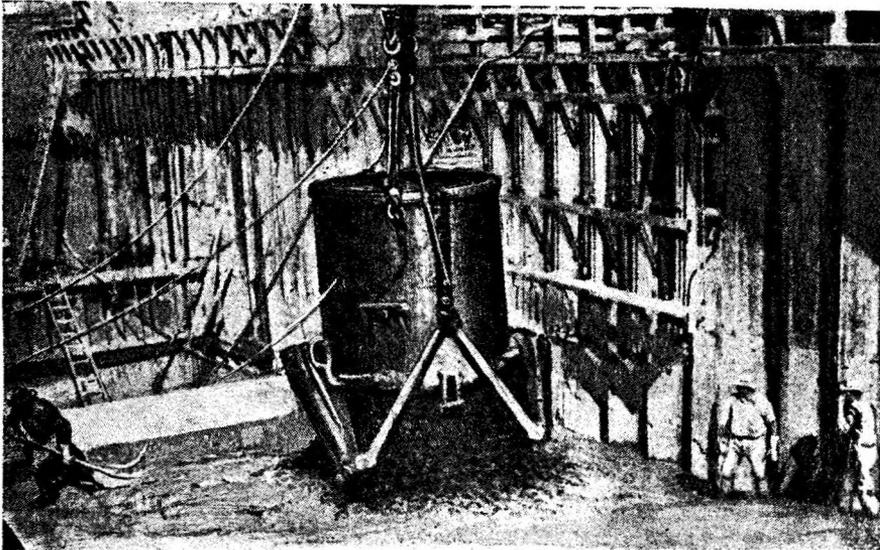


Рис. 4. Укладка бетона на плотине Баульдер — опораживание ковша в $6,15\text{ м}^3$.

либо же недостаточная плотность верхнего поверхностного слоя бетона. Ирригационное бюро исследовало различные методы борьбы с этим явлением и пришло к заключению применять следующие мероприятия в обычных случаях, тогда не замечается какого-либо отступления от нормальной консистенции бетона.

На свежесхватившуюся начинающую твердеть поверхность бетона пускается струя воды с воздухом под давлением, срывающая с поверхности бетона тонкий слой, увеличивающая неровность этой поверхности и улучшающая, таким образом, связь ее с последующей кладкой.

Опыты, произведенные в Калифорнийском университете, показали, что сопротивление обработанного таким образом шва на сдвиг составляет примерно 92% сопротивления на сдвиг бетона в массиве (в сечении, где шва нет)¹⁾.

Если же имеется в наличии образование пленки цементного молока,

¹⁾ Concrete Placing Details at Boulder Dam. (Eng. News-Rec., № 3, vol. 113, 1934)

либо бетон успел затвердеть и пр., верхний слой его скалывается и применяется обработка поверхности шва проволочными щетками. Требования однородности ухода за свежеложенным бетоном, учитывая температурные условия и сухость воздуха, предусмотрено техническими условиями для плотины Баульдер и выражается в непрерывном и длительном увлажнении всех поверхностей как горизонтальных, так и вертикальных (фасадных и поверхностей температурных швов). Продолжительность увлажнения устанавливается но крайней мере в 2 недели после укладки бетона. Плотина Баульдер разделена на блоки температурными швами как радиальными (поперечными), так и дугowymi (продольными) в направлении образующих арочного очертания плотины.

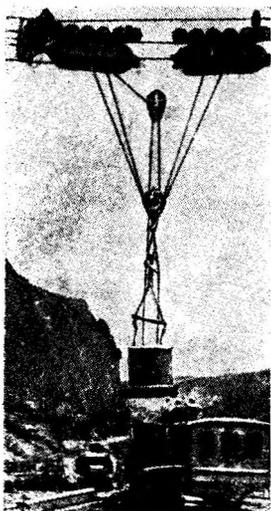


Рис. 5. Тележка кабельного крана.

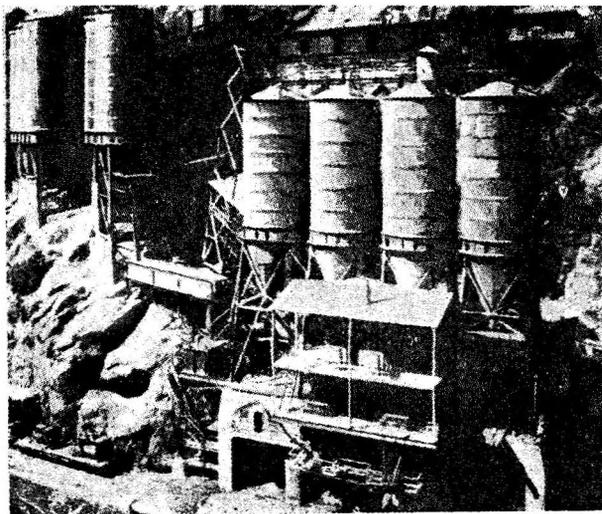


Рис. 6. Верхний бетонный завод на плотине Баульдер с силосами для материалов и подъездными путями — верхними и нижними.

Размеры блоков, устанавливаемых двумя указанными категориями швов, колеблются в пределах от 7,63 X 9,15 м со стороны нижнего бьефа, до 15,25 X 18,30 м — со стороны напорной. Боязнь высыхания бетона заставила отказаться от предполагавшейся укладки его слоями в 0,30 м и принять укладку слоями высотой в 1,52 м. Поверхности швов как радиальных, так и дугowych образованы в форме пгтраб (с соответственными впадинами и выступами) для улучшения условий со-противления бетона на сдвиг. Для ограничения при цементации швов определенных цементируемых участков (в направлении шва) устанавливаются поперек швов специальные металлические диафрагмы. Они располагаются поперек радиальных и дугowych швов в каждом месте их пересечения. В вертикальном направлении диафрагмы расположены через каждые 15,25 м.

Охлаждение бетона, применяемое на плотине Баульдер, имело своей целью парализовать действие тепла, развивающегося в массе бетона при его схватывании и твердении, и сопровождающееся повышением температуры бетона и объемными изменениями (явление усадки

бетона). Чтобы воспрепятствовать этому, необходимо добиться, чтобы внутренняя температура бетонных массивов была снижена до определенных пределов. Таковыми пределами являются: для бетонных частей тела плотины со стороны нижнего бьефа — средняя годовая температура окружающего воздуха, а для частей плотины со стороны верхнего бьефа — температура водохранилища.

Охлаждение бетона достигается циркуляцией воды по системе труб $\varnothing = 2,5$ см, заложенных в бетоне, и распадается на 2 стадии. В первой — по трубам начинает пропускаться речная вода температурой, примерно, 65°Ф ($18,5^\circ \text{С}$) (без специального охлаждения), как только это позволяет бетонировка; во второй стадии — по трубам пропускается уже искусственно-охлажденная вода температурой порядка 40°Ф ($4,5^\circ \text{С}$) из специально сооруженной холодильной установки. От этой установки ведут магистральные трубы к главным подводным коллекторам ($\varnothing = 15$ см), от которых уже питается охладительная сеть ($\varnothing = 2,5$ см). Подводящий и отводящий коллекторы укладываются все время в центральной радиальной траншее шириной в 2,5 м; по мере окончания охлаждения бетонных массивов трубы эти поднимаются, а траншея заполняется бетоном. Охладительные трубы расположены по плоскостям продольных швов плотины в горизонтальных и вертикальных плоскостях в расстоянии 1,75 м и 1,52 м друг от друга. Длина охладительной петли от центрального коллектора до устья плотины и обратно колеблется в зависимости от места ее расположения в теле плотины от 180 м до 350 м; общая длина, системы охладительных труб достигает до 480 км. Для измерения температуры в толще уложенного бетона служат многочисленные, заделанные в бетон термометры сопровитвления. Кроме этого, производились также еще и поверочные измерения температуры внутренних слоев бетона следующим образом: охлаждающая петля развешивалась в различных местах и, таким образом, приостанавливалась по ней циркуляция воды. По истечении некоторого промежутка времени наступало тепловое равновесие, т. е. устанавливалась одинаковая температура внутри бетонного массива и воды, находящейся в трубе. Эта последняя измерялась непосредственно термометром и таким образом, можно было судить о температуре бетона, а также проверять и контролировать показания термометров сопровитвления.

Деформации в бетонной массе, возникающие как в результате термических процессов при гидратации цемента, так и впоследствии от давления воды при заполнении водохранилища, отмечаются специальными экстензометрами, заделанными в бетон. Для измерения ширины раскрытия температурных швов служат щелемеры Карлсона, работающие по тому же принципу, что и эко-тензометры Карлсона, с той лишь разницей, что конструкция их изменена соответственно требованию отмечать большие амплитуды деформаций.

После того как бетон в массиве определенной высоты (состоящем по высоте из слоев по 1,52 м) охлажден до требуемой степени, центральная радиальная траншея в теле плотины заполняется бетоном: вслед за этим приступают к цементации швов. Предварительные опыты показали, что для заливки таких швов следует применять только чистый цемент, тщательно просеянный через сито в 200 отверстий на пог. дюйм (т. е. 6200 отв/см^2) с целью избежать засорения швов. Просеянный таким образом цемент хранится в бумажных (4-слойных) мешках для защиты от воздействия атмосферной влаги. Наибольшая продолжитель-

ность хранения цемента после его просеивания ограничена 7-ю днями— в течение этого промежутка времени он должен быть пущен в дело. Цементация швов производится, как сказано выше, чистым цементом, затворенным либо в виде цементного молока, либо в виде сильно пластичного теста, и подаваемым под давлением по системе труб, заделанных в бетон. Трубы эти располагаются вблизи каждого шва и снабжены выпускными отверстиями, находящимися на некоторых расстояниях друг от друга вдоль всего шва.

Каждый из таких выпусков цементирует определенную площадь шва, а именно: $2,80 \text{ м}^2$ на радиальных швах и $4,65 \text{ м}^2$ — на дуговых. Практика заливки швов и мелких трещин показывает, что при достаточной тщательности и соответствующем наблюдении можно достигнуть результатов весьма высокого качества для любого отверстия не менее $0,25 \text{ мм}$ ширины. При этом благодаря давлению затворенный цемент распределяется по всей поверхности шва, а излишняя вода входит в поры бетона. Указанный способ проверялся на плотине Гибсон в Монтане выбуриванием колонок, (малых цилиндров) из поперечных швов и дал вполне удовлетворительные результаты.

Создание желательной цементной прослойки при заливке температурных швов требует: 1) достаточной ширины шва (см. выше) для равномерного распространения цемента по всей поверхности шва, 2) соответствующей обстоятельствам консистенции затворенного цемента для полного заполнения шва. 3) достаточного времени для твердения введенной в шов под давлением цементной прослойки и 4) достаточного давления для инъекции цемента и для удаления излишней воды в бетон.

В заключение будет уместно привести некоторые выводы в отношении плотины Баульдер, к которым приходит один из руководящих работников Ирригационного бюро. Ураг W. Steel, с учетом других аналогичных работ, приведенных Ирригационным бюро в Денвере.

1) Строительные свойства и гранулометрический состав инертных материалов — лучшие из когда-либо достигнутых бюро.

2) Проект, организация и оборудование производства бетона вполне современные.

3) Водоцементное отношение ($0,53$ по весу) наиболее низкое для удовлетворительной укладки бетона с содержанием цемента в 225 кг/м^3 (1 бочка на куб. ярд).

4) Достигнутая прочность бетона на сжатие на 28-й день $175—196 \text{ кг/см}^2$, полученная при испытании цилиндров размером $91,5 \times 183 \text{ см}$ при влажном хранении и температуре 70° F (21° C) вполне достаточна (рис. 7).

5) Оплыв бетона при укладке в $3''$ ($7,6 \text{ см}$) обеспечил более однообразную массу, чем она получилась бы в данных условиях работ при применении менее пластичного бетона,

6) Выбранный тип цемента с малым образованием тепла вполне соответствует техническим требованиям.

7) Укладка бетона большими количествами с применением крупных бадей (ковшей) обуславливает улучшение качества и большую экономичность бетона.

8) Применение первибраторов при укладке такого типа бетонов может иметь особое значение при проработке массы в углах форм и пр.

9) Водонепроницаемость плотины в целом зависит, главным обра-

зам, от чистоты и подготовки поверхности уложенного слоя бетона и связи старого слоя с новым в горизонтальных швах.

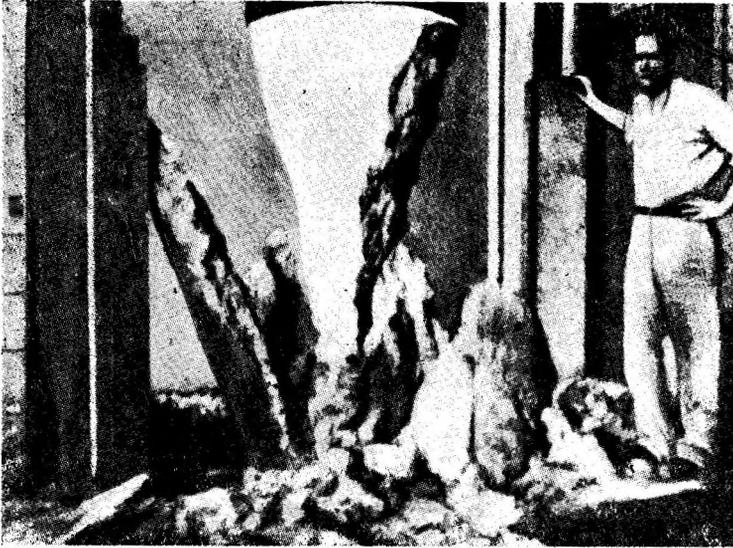


Рис. 7. Испытание бетона для плотины Баульдер в лаборатории Bureau of Reclamation (Денвер-Колорадо) — контрольный цилиндр размером 91,5 X 183 см.

10) Однородность всей бетонной массы является важнейшим условием в общем производственном процессе.

§ 4. Характеристика бетона и описание производства работ другими способами при малопластичных, пластичных и сильно пластичных (полужидких) бетонах

1. А. Наиболее ярким примером применения малопластичных бетонов может служить плотина *Пайн-Кэнион*, начатая постройкой в 1932 г. и являющаяся водоудержательной плотиной водохранилища вместимостью в 50 млн. м³ воды на р. С.-Габриель, служащего для водоснабжения г. Пасадена (Калифорния). Размеры ее: наибольшая высота 98 м, ширина подошвы 84 м и общая кубатура 330 000 м³. При бетонировке этой плотины ¹⁾ применен сухой бетон со сплывом

всего лишь в 2,5 см при $\frac{C}{W} = 1,68$ ($\frac{W}{C} = 0,59$ — С. В.). Проработка

бетона велась совместной работой поверхностных электрических вибраторов платформенного типа в середине блока и первибраторов (рис. 8) у опалубки и в углах. Такая совместная работа дала весьма благоприятные результаты, о чем свидетельствует объемный вес уложенного бетона (определенный по вырезанным из тела плотины образцам), достигавший 2500 кг/м³ ²⁾. Для приготовления бетона, так же как и на плотине Баульдер, применялся специальный цемент с малым выделением тепла. Контроль над химическим его составом велся в центральной

¹⁾ D o l d t. Der Bau der Pine-Sperrmauer (USA) (Beton u. Eisen, № 4. 1934).

²⁾ S. M o r r i s. Journal of Amer. Concrete Institute, № 4, 1934.

лаборатории; физические же свойства цемента и бетона контролировались полевой лабораторией. Опытами было установлено, что цемент выделял на 28-й день 65 кал/г (при технических условиях не свыше 80 кал/г). Температура при этом поднималась от 36 до 108° Ф (от 2,5 до 42,25° С), тогда как при стандартном портланд-цементе температура достигала бы 130° Ф (55,5° С)¹.

Состав бетона, применявшийся на постройке, в основном был ниже-следующий:

замес	3 м ³
цемент	650 кг
песок	1730 "
крупные инертные 6—22 мм	1360 "
" " 22—38 "	658 "
" " 38—76 "	1120 "
" " 76—152 "	1650 "
вода (учитывая и влажность песка)	386 "
вода + 2 ⁰ / ₀ на поглощение инертными	422 "
отношение цемента к воде $\frac{C}{W}$	= 1,68
осадка конуса	= 2,5 см
временное сопротивление бетона (проектное)	140 кг/см ²



Рис. 8. Применение первибраторов на плотине Пайн-Кенион.

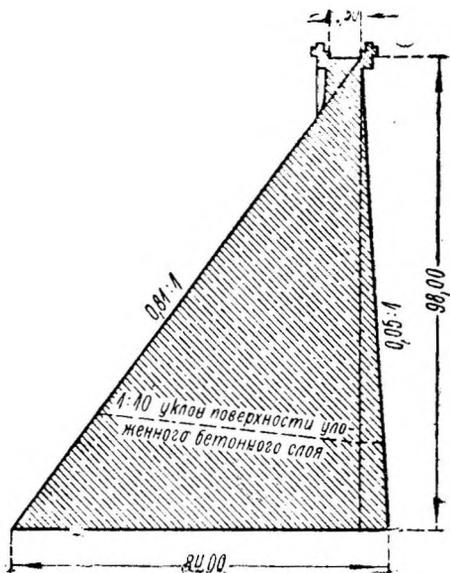


Рис. 9. Плотина Пайн-Кеннон — поперечный разрез.

Для верховой грани (слой толщиной примерно в 3.0 м) содержание цемента увеличивалось до 708 кг (на замес); при этом временное сопротивление — 176 кг/м² (проектное).

Бетон укладывался по отдельным блокам слоями общей высотой в 1,5 м. После перерыва в 04 часа начиналось бетонирование следующего слоя в 1,5 м. Поверхности перерыва бетонирования по каждому из слоев (рабочие швы) имели уклон в $\frac{1}{10}$ (рис. 9). Для подачи бетона

$$\frac{C}{W} = 1,85 \text{ и}$$

¹Concreting at Pine Canyon Dam (Eng. News.-Rec., № 21, vol. 110. 1933).

служили 2 кабельные крана с ковшами вместимостью по 3 м³. Цемент подавался по системе труб пневматическим способом на высоту 100 м, где был расположен бетонный завод; туда же по канатной дороге подавались и инертные материалы.

Требования строительства к цементу ¹⁾ сводились к следующему:

- 1) количество трехкальциевого алюмината — не свыше 6%;
- 2) на, сите № 200 (200 отв. на пог. дюйм. т. е. 0200 *отв/см²*), остаток при просеивании не меньше 2% и не больше 15%;
- 3) в отношении сопротивления образцов раствора на растяжение никаких требований не ставилось;
- 4) в отношении временного сопротивления сжатию раствора 1 : 3 требовалось:
 - а) на 7-й день — 56,5 *кг/см²* при условии хранения образцов 1 день на влажном воздухе при 70° Ф и 6 дней в воде при такой же температуре (21° С);
 - б) на 28-й день — 140 *кг/см²* при хранении 1 день на влажном воздухе при 70° Ф и 27 дней в воде при той же температуре;
- 5) выделение тепла не более 65 *кал/г* до 7 дней и не более 80 *кал/г* — до 28 дней.

В. Вторым примером применения вибрации в случае малопластичных смесей бетона, могут служить плотины: 1) *Шют оф Кэрон*, находящаяся в Квебеке (Канада) и 2) *Кэльдервуд*, находящаяся в Теннесси.

Обе эти плотины были построены для Американской алюминиевой компании примерно одновременно, поэтому в обеих этих плотинах мы наблюдаем более или менее одинаковый организационный подход. Бетон для них проектировался на прочность в 210 *кг/см²* на 28-й день: расход цемента — 4,5 мешка на 1 куб. ярд. т. е.

$$\frac{4,5 \times 171 \times 94}{379 \times 0,76} = 250 \text{ кг/м}^3 \text{ } ^2) \text{ бетона.}$$

В качестве инертных материалов при постройке указанных плотин применялись:

а) на плотине Шют оф Кэррой: песок — добывался из ледниковых отложений; после отсеивания гравия, находящегося в нем модуль крупности его был равен 3,0. Примесь глины в песке составляла, от 2,5 до 3,0%. Крупная составляющая получалась дроблением местного гранита; в дело пускалась щебенка лишь размером от 5 до 15 см:

б) на плотине Кэльдервуд применялся искусственный дробленый материал кат; в качестве крупной составляющей, так и в качестве

¹⁾ Special Low-Heat Cement for Pinc-Canyon Dam. (Eng. News-Reg., 14,1932)

²⁾ Т. е. расход цемента на 10% больше, чем на плотине Баульдер и равным образом, на 14% больше, чем на плотине Пайн-Кэнион. Осадка конуса на описываемых 2 плотинах примерно 4 см, что, опять-таки, больше, чем на плотине Пайн-Кэнион, где сплав колебался около 2,5 см; при этом предельная крупность гравия была одинакова в обоих случаях и равна 15,2 см. Не имея, к сожалению, точных

и более подробных данных о величине $\frac{W}{C}$ и о гранулометрическом составе на плотинах Кэльдервуд и Шют оф Кэррон можно, на основании имеющихся сведений, заключить, что 1) на этих последних 2 плотинах фигурировал более пластичный состав, чем на плотине Пайн-Кэнион, которая по степени жесткости бетона может считаться рекордной и 2) объективно исследуя, нельзя считать бетон с расходом цемента в 250 *кг/м³* и осадкой конуса в 4 см „исключительно сухим“, как он назван в описании этих построек, помещенном в журнале Engineering News-Record vol. 103, № 17, 1929, и носящем несколько рекламный характер.

песка. Основной породой для дробления служил местный песчаник. Размер крупной составляющей от 7,5 до 15 см. На описываемой плотине щебень, лежащий вне указанных пределов, не применялся, а дробился на песок вследствие существовавшего на строительстве мнения, что при такой дозировке инертных бетон получается более подвижным и удобообрабатываемым.

Дозировка на обеих постройках производилась: песка и гравия — по объему, цемента — по весу, воды — в градуированных сосудах. Объемные составы бетона:



Рис. 10. Укладка бетона на плотине Кэльдервуд — ковш на 4 куб. ярда (3,10 м³).

- а) на Шют оф Кэрон — 1 : 2,3 : 4,0 — при осадке конуса около 4 см ;
 б) на Кэльдервуд—1 : 3 : 4,5 — при той же величине осадки.

Дозировка воды корригировалась за счет регулярно определяемой влажности в песке. Для изготовления бетона применялись бетономешалки на 3 м³, из которых бетон выгружался в бады той же емкости (рис. 10), перевозившиеся на платформах. Дальность возки составляла 600 м у Кэльдервуда и до 5 км у Шют оф Кэрон; таким образом от начала смешивания до начала укладки проходило до 50 минут. По местным техническим условиям бетон, пролежавший до укладки свыше 1 ч. 15 м., в дело не допускался. На плотину бады подавались вантовыми дерриками: после разгрузки бадей сразу же применяли вибрирование бетона 2—3 электровибраторами платформенного типа (30 X 75 см) с 3600 ударами в минуту (рис. 11). Вибрирование велось от краев кучи к середине и требовало до 5 м, времени на кучу

в 3 м³. По сообщению Е. Н.-Р. влияние вибрации сказывалось на глубину до 40 см.

Испытания цемента производились в местных лабораториях. Для испытания бетона применялись в качестве образцов цилиндры следующих размеров:

- 1) 20 X 40 см с максимальной крупностью инертных до 5 см,
- 2) 15 X 30 см » » » » 1,9 »,
- 3) 91,5 X 183 см с сохранением щебня всех фракций.

При этом следует отметить, что временное сопротивление образцов 20 X 40 см получилось равным 210 кг/см²; образцы 15 X 30 см дали в результате на 10% большую прочность, т. е. 230 кг/см², а контрольные



Рис. 11. Применений вибраторов платформенного типа на плотине Кэльдервуд.

образцы — 91,5 X 183 см с сохранением щебня всех размеров показали прочность на 25% меньшую, чем образцы 15 X 30 см.

Средняя прочность на плотине Кэльдервуд оказалась 280 кг/см² на 28-й день, а на Шют оф Кэрон — 260 кг/см².

2. В качестве примера применения пластичных бетонов с укладкой их без помощи кабельных кранов и без применения вибрации может служить в частности постройка арочных плотин Дайабло и Вотервиль.

А. *Арочная плотина. Дайабло* на р. Скаджит наибольшей высотой 129,8 м при ширине сверху 4,9 м и внизу — 39,0 м (рис. 12) закончена постройкой в 1930—1931 гг. До недавнего, сравнительно, времени она являлась одной из самых высоких плотин США. В настоящее время она уступает там только 2 плотинам: а) Сан-Габриель — высотой в 152 м — гравитационной плотине в форме арки (не достроена вследствие плохих грунтовых условий) и б) Баульдер — высотой 223 м — гравитационной плотине в форме арки. Общая кубатура бетона плотины Дайабло — 267 575 м³ была уложена в 33 месяца. На постройке нашли себе широкое применение ленточные транспортеры как для подачи материалов, так и для подачи и укладки готового бетона

Максимальный допускаемый размер инертных — 100 мм; фракции размером от 100—250 мм пропускались через камнедробилку. Особое внимание было уделено рациональному подбору гранулометрического состава для бетона состава 1 : 7¹/₂ (по весу). Применялись 3 фракции инертных:

а) песок, который должен был удовлетворять следующим требованиям: не менее 20% и не более 40% его должно проходить через сито № 30 и не менее 75% должно оставаться на сите № 28 (отв. ∞ 0,6 мм);

б) средняя составляющая, проходящая через сито с отверстием в 51 мм (2") и остающаяся на сите с отверстиями 6 мм и, наконец,

в) крупная составляющая, проходящая через сито — в 10,2 см и остающаяся на сите — в 5,1 см.

Цемент подавался россыпью в вагонах. Наибольшие допускаемые напряжения на сжатие в плотине Дайабло приняты в 42 кг/см². (Интересно при этом отметить большую осторожность проектировщиков плотины Баульдер, где, несмотря на то, что это — гравитационная плотина, имеющая помимо этого и очертание арки, было допущено на сжатие не более 30 кг/см²). Требуемое временное сопротивление для основной массы бетона — 210 кг/см² на 23 день. Лишь для слоя бетона толщиной в 90 см непосредственно со стороны воды применялась повышенная дозировка, соответствующая временному сопротивлению в, 315 кг/см². Испытания на, водонепроницаемость на бетонных цилиндрах в 203 мм под давлением воды в 12,3 от в течений 2 суток, не дали никаких следов просачивания воды. Замес для бетономешалок в 1,60 м³ состоял из! 455 кг цемента, 1120 кг песка, 1400 кг средней камневидной составляющей и 946 кг крупной.

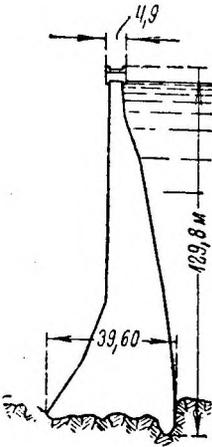


Рис. 12. Плотина Дайабло—поперечный разрез.

Количество воды определялось предельной заданной величиной осадки конуса в 7,6 см (в среднем от 6,3 до 7,6 см) и выражалось общим количеством 5¹/₂ галлонов на 1 мешок цемента, что определяет величину

$$\frac{W}{C} = \frac{5,5 \times 3,78}{42,75} = 0,50$$

(ПО весу, принимая вес 1 американского галлона — в 3,78 кг: с учетом воды, содержащейся в песке, эта величина достигает 0,7). Подача, бетона, как уже выше было сказано, осуществлялась системой 2 ленточных транспортеров, из которых один был прикреплен непосредственно к башне подъемника, а второй подвешен к металлической горизонтальной стреле, в свою очередь прикрепленной непосредственно к подъемнику (рис. 13). Благодаря возможному вращению вокруг башни подъемника как металлической стрелы, так и транспортеров возможно было осуществить подачу бетона до дуге круга, равной 360°. Ширина ленты транспортеров равнялась, примерно, 61 см. Во избежание перегрузки нижнего транспортера он двигался несколько быстрее, чем верхний (скорость нижнего 1,55 м/сек, а верхнего — 1,47 м/сек). Кроме того, разгрузочная воронка на ленту 1-го транспортера была диаметром около 25 см, а на ленту 2-го транспортера — около 30 см. От конца 2-го транспортера ведет вертикально подвешенный гибкий шланг (так назы-

ваемый хобот) для сбрасывания бетона. Главное достоинство такого способа подачи бетона состоит в непрерывном распространении бетонной массы по всей бетонируемой поверхности. При этом бетон вался лопатами и утаптывался ногами (рис. 14). Бетонировка велась блоками высотой в 1,5 м, состоявшими каждый из 5 слоев по 0,30 м.

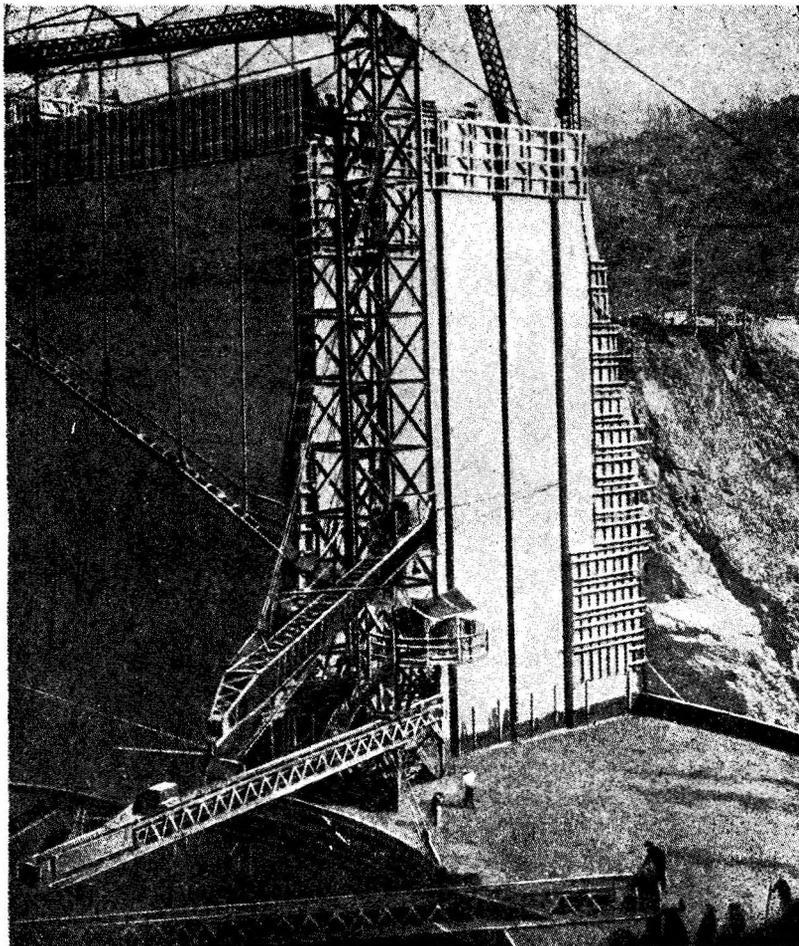


Рис. 13. Укладки бетона на плотине Дайабло ленточными транспортерами.

Производительность укладки в час — около 85 м³, а наибольшая в сутки (24 часа) — 1165 м³. После перерыва поверхность бетона перед началом дальнейшей бетонировки очищалась стальными щетками и промывалась струей под давлением в 10 ат. Опалубка снималась через 3 дня после укладки бетона. Температурные швы устраивались, примерно, через 22 м. Непроницаемость их достигалась устройством асфальтовой шпонки 15 x 15 см, и закладываемых поперек шва в бетон полос из листовой меди (рис., 15)¹⁾.

¹⁾ Construction Ingenuity Displayed at Diablo-Dam (Eng. News-Rec., vol. 103 № 9. 1929).

Б. В качестве второго примера можно привести арочную плотину *Вотервиль* *) для гидроустановки того же названия. Плотина эта соору-

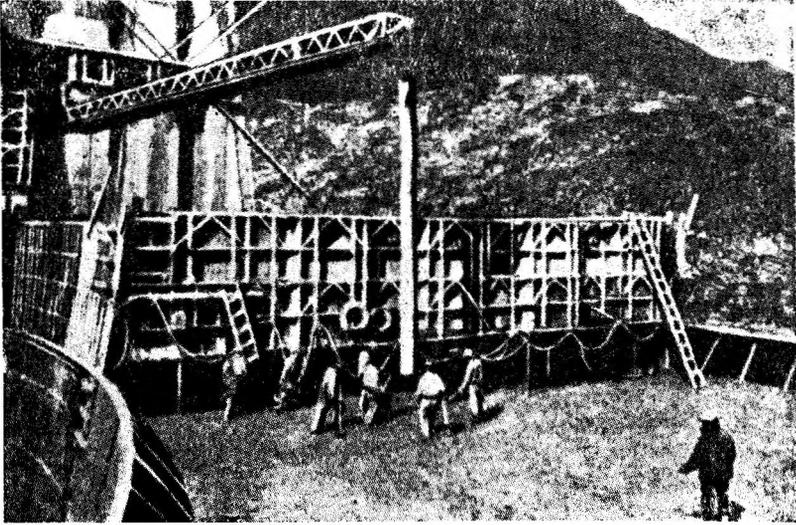


Рис. 14. Укладка бетона на плотине Дайбло.

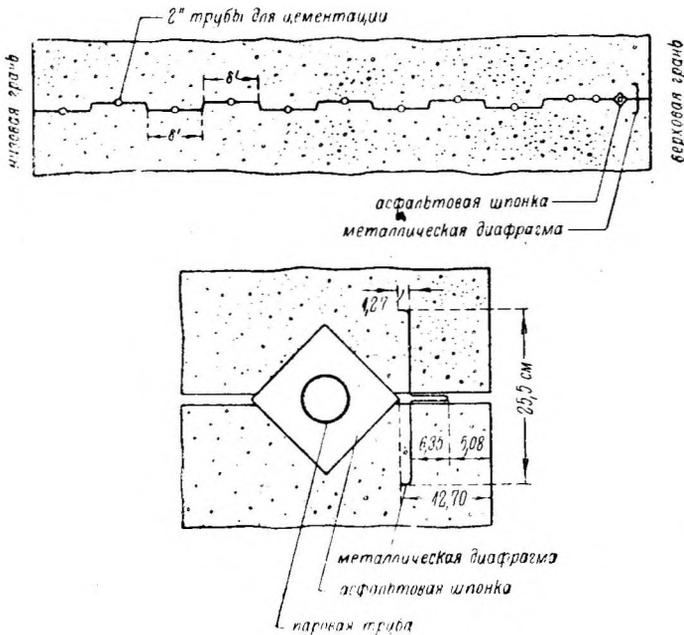


Рис. 15. Конструкция температурного шва на плотине Дайбло.

жена на р. Пиджон в малодоступном ущельи Северной Каролины и имеет следующие размеры: $H_{\text{шax}} = 61$ м (с 14 щитами на гребне), тол-

*) Design and Construction of High Arch Dam for Waterville Hydro-Electric Development. (Eng. News-Record, vol. 102, № 23, 1929).

шина в замке: у гребня — 4,9 м, у основания — 12 м, радиус арки — 92—95 м. при общей кубатуре бетона—92 000 м³. Плотина возводилась вертикальными секциями (блоками) длиной по 15,4 м с промежутками (траншеями) между блоками шириной по 2,5 м. Заполнение указанных промежутков было сделано после холодного периода, спустя 6 месяцев после бетонировки, когда бетон уже успел охладиться. Для непроницаемости швов устанавливали поперечные металлические диафрагмы. При этом заслуживает внимания, что на этой плотине

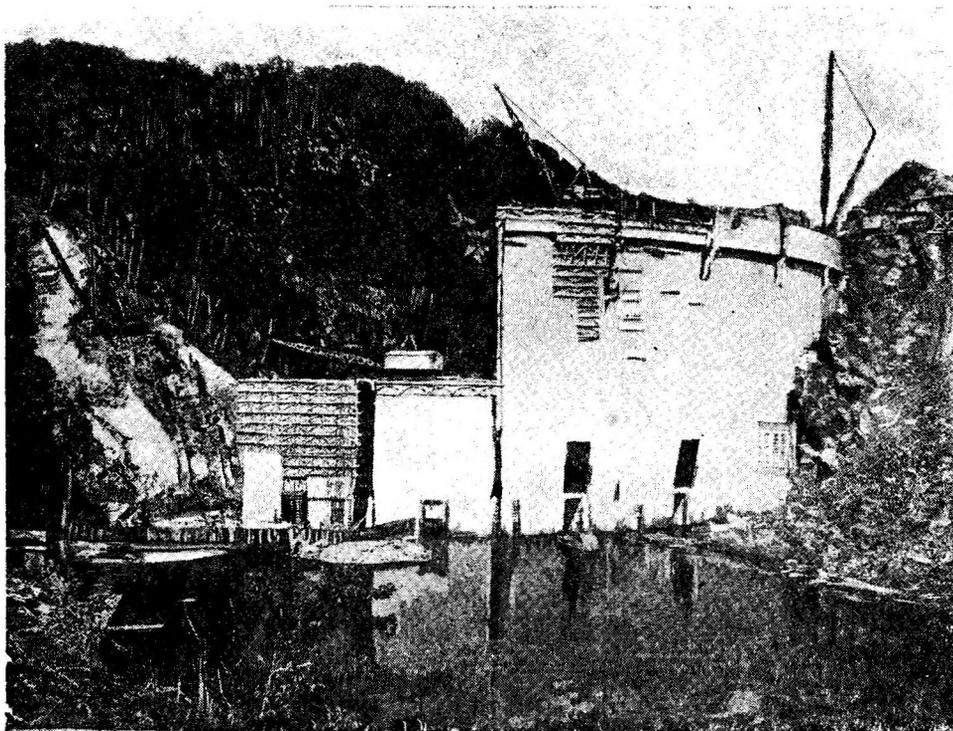


Рис. 16. Укладка бетона на плотине Вотервиль при помощи поворотных кранов

указанные диафрагмы ставились не только в вертикальных температурных швах (30,4 см медные диафрагмы), но и в горизонтальных рабочих швах (15,2 см железные диафрагмы). И те и другие устанавливались в расстоянии 12" (30,4 см) от наружной грани. Бетон плотины Вотервиль изготовлялся исключительно из искусственных дробленых материалов и искусственного песка. Основной состав бетона был 1 : 2½ : 5; дозировка на замес в 2 куб. ярда, равная примерно 1,5 м³, составляла:

а) цемента.....	410кг
б) мелкой составляющей (до 1 см).....	1215,,
в) средней составляющей (от 1 до 2,5 см).....	592,,
г) крупной составляющей (до 8 см).....	1125,,

В общем состав бетона сходен с плотиной Дайабло (см. стр. 28), по способу же укладки они различаются. На плотине Вотервиль бетон подвозился к плотине по ж.-д. путям в ковшах емкостью 1½ м³.

означенные ковши передавались уже непосредственно к месту укладки 2 полнооборотными кранами, установленными на плотине (рис. 16).

Кроме того, непосредственно над плотинной имелся кабельный кран пролетом в 520 м.

3. Примером бетонной плотины, где при умеренных, в среднем, расходах цемента применялся значительно более пластичный полуплитой бетон, позволявший в силу этого подавать его по желобам, может служить плотина Буль-Ран¹⁾.

Плотина *Буль-Ран* — водоудержательная — служит для создания водохранилища емкостью до 38 млн. м³ для г. Портланда в штате Орегон. Плотина гравитационная высотой в 61 м имеет в плане форму арки радиусом в 183 м; радиальными швами она разрезана на секторы

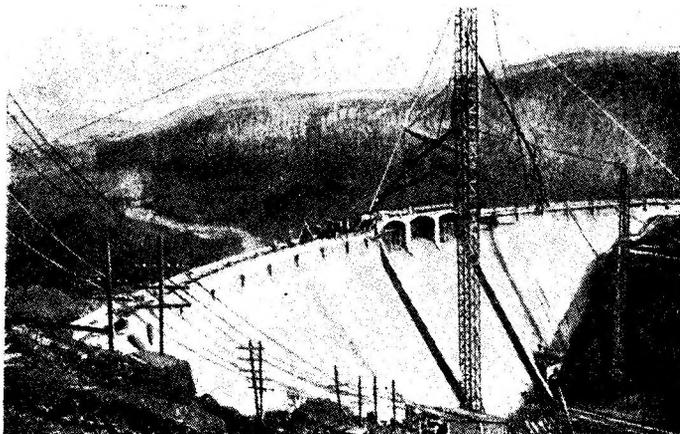


Рис. 17. Укладка бетона на плотине Буль-Ран при помощи бетонных башен и желобов.

с расстоянием между швами в 12 м, считая по верхней грани плотины. В расстоянии 0,6 м от этой грани швы пересечены медными поперечными диафрагмами шириной 0,6 м и шпонками δ — 15 см из трамбованной глины. Наибольшее расчетное напряжение на сжатие в теле плотины достигает у ее подошвы $12,6 \text{ кг/см}^2$ при порожнем водохранилище и 19 кг/см^2 — при полном. Ввиду незначительной величины расчетных напряжений к теле плотины подбор состава бетона был сделан, исходя из водонепроницаемости и морозостойкости. Запроектирован бетон с временным сопротивлением 140 кг/см^2 в возрасте 1 года для тела плотины: поверхностный слой в 4,5 м был запроектирован более жирным с временным сопротивлением в 210 кг/см^2 — также в возрасте 1 года. Для экономии в цементе был допущен возможно более крупный щебень, размером до 17,5 см (проходит через сито в 17,8 см и остается на сите в 12,7 см) при достаточно жирном растворе. Применять, однако, щебень крупнее 15 см оказалось практически неудобным, так как он застревал в желобах. Бетонные работы обслуживались кабельными кранами: бетон поднимался по подъемным башням и оттуда спускался по желобам (рис. 17), подвешенным к специальному кабельному крану. Укладка производилась возможно тща-

¹⁾ В. Е. Т о р р е n. The Bull-Run Storage Dam. (Eng. News-Rec., Aug. 8, 1929).

тельнее с шурованием укладываемой массы лопатами. Инертные материалы разрабатывались в карьере па 5 км ниже ллотины при помощи драглайнов, с отвозкой их на платформах к плотине, где были расположены промывные устройства и бункера для хранения инертных. Инертные сортировались на 5 фракций; отходы более крупных размеров шли в дробилки. Отмеривание материалов производилось по объему с учетом влажности песка,

Примерный (типовой) состав на занес:

Примечание:

воды.....	245л	Соответствует составу бетона 1:7,5
цемента.....	255,,	Расход цемента — 0,96 боч/ярд ³ = =215 кг/м ³ (в среднем)
песка от 0 до 10 мм.....	590,,	$\frac{W}{C} = 0,97$ по объему или 0,7 по весу
щебня „ 10 „ 25 „	280,,	Осадка конуса 3—4"= 8—10 см
„ 25 „ 75 „	375,,	Плотность = 0,894
„ 75 „ 125 „	690,,	Объемный вес: 2,47 до 2,53 т/м ³
булыжника „ 125 „ 175 „	465,,	Временное сопротивление на сжатие на 28-й день — 147 кг/см ²

Всего:..... 2 900 л

Бетонешалки применялись емкостью в 1,5 м³, время перемешивания 2 мин., полная операция 2½ мин. Из бетонешалок бетон вываливался в люльку подъемника (с шахтой на 2 люльки; высота шахты — 114 м, при скорости подъема 1,5 м/сек). Наверху шахты люльки опрокидывались в бункера, из которых уже бетон шел в желоба (в 50 см), обслуживавшие всю плотину.

Бетонировка велась слоями но 1,40 м; в горизонтальном направлении устраивались штрабы (20 X 52 см) для лучшей связи слоев.

Общая кубатура уложенного на плотине бетона 168 000 м³. Начало работ — 1927 г.; окончание бетонировки плотины— 1929 г.

§ 5. Организация работ на плотине Норрис

Указанная плотина, находящаяся еще в периоде отройки, является одной из новейших гравитационных плотин и представляет для нас несомненный интерес, как пример весьма полной механизации работ и рациональной организации, производственных процессов. Плотина Норрис (Cove Creek) — строится на р. Клонн в Теннесси; она гравитационного типа, прямолинейная в плане (рис. 18) и имеет следующие размеры: наибольшая высота от основания до гребня 72 м¹), ширина в основании 56,5 м и длина по гребню — 637 м. Общая кубатура бетона — 764 500 м³. Предполагаемый срок окончания всех работ (пуска гидростанции) — 1936 г.; к концу 1934 г. было уже уложено около 0,75 всего бетона плотины. Работы предположены к исполнению в 2 очереди, за перемычками; при этом при производстве работ по 2 части плотины, паводки будут пропускаться через готовую 1 часть. Расходы во время паводков доходили до 50 000 секундофутов

¹) Запроектированная вначале высота 76,5 м была затем уменьшена вследствие снижения отметки подпертого горизонта.

(1400 $\text{м}^3/\text{сек}$) против 40 000 секундофутов (1100 $\text{м}^3/\text{сек}$) расчетных. Инертные материалы для бетона плотины получают дроблением

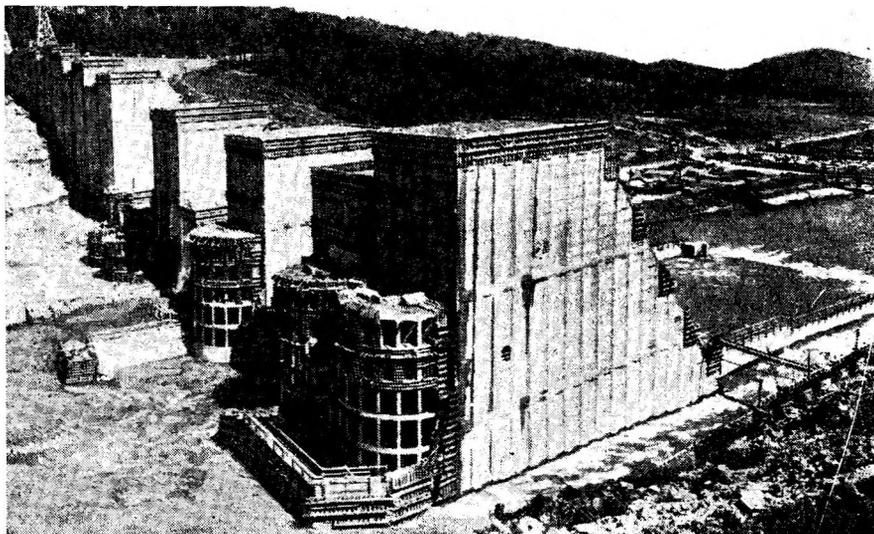


Рис. 18. Плотина Норрис — общий вид на сооружение.

доломитового известняка, залегающего в основании сооружений. При этом следует иметь в виду; применение на данной постройке искусственного песка, также получаемого вышеуказанным способом. Мате-

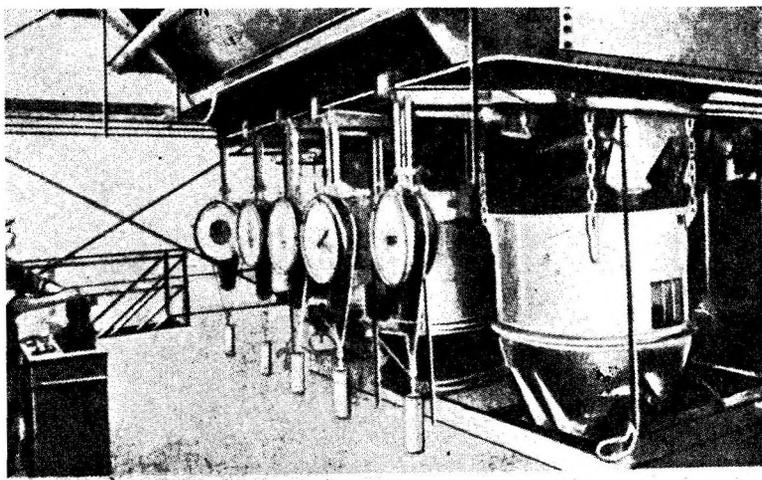


Рис. 19. Бетонный завод на плотине Норрис — дозировочное отделение

риалы сортируются на 6 фракций: 2 фракции песка и 4 фракции крупных инертных: 1) мелкий песок — от 0,15 мм (сито со 100 отв. на лог, дюйм)¹⁾ и проходящий через сито № 8; 2) крупный песок, па-

¹⁾ Примерно 1500 $\text{отв}/\text{см}^2$.

доживающийся на сите № 8 и проходящий через сито в 6 мм: крупные инертные: 3) 6—19 мм: 4) 19—38 мм: 5) 38—76 мм и 6) 76—152 мм.

Последние 2 фракции называется булыгами (cobble). Приготовление бетона для плотины Норрис производится в специальном оборудованном бетонном заводе, в 3 бетономешалках по 2,3 м³ (3 куб. ярда каждая), с расчетной производительностью до 60 м³ (78,0 куб. ярд) в час и допускающих, как показал опыт, до 20% перегрузки. Распиная средняя производительность бетонного завода в месяц была, принята в 38 000 — 46 000 м³ при максимуме примерно в 57 000 м³. Количество уложенного бетона достигало в отдельные месяцы 64 000 — 66 000 м³. Здание бетонного завода имеет 5 этажей, из которых главные: бункерный, мерный и перемешивательный (рис. 19). Инертные доставляются в бункера завода по ленточному транспортеру: цемент

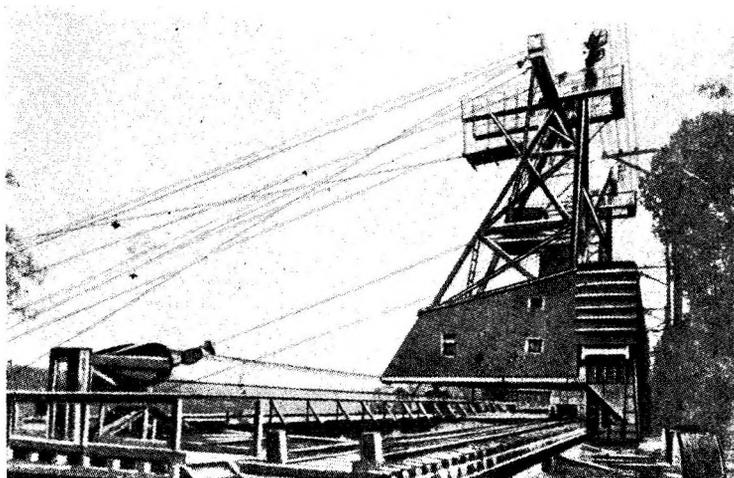


Рис. 20. Опора кабельного крана.

поступает из силосов пневматическим способом. Состав смеси пересчитанных фракций инертных материалов может меняться к зависимости от тех или иных производственных требований. Устройство бетонного завода плотины Норрис допускает получение в любое время 6 различных комбинаций состава смеси инертных. Необходимо подчеркнуть весьма полную механизацию и автоматизацию оборудования бетонного завода. Бетономешалки (опрокидывающиеся) снабжены электрическим управлением, мерные ящики для инертных закрываются пневматическим способом, мерные ящики для цемента управляются автоматически электромагнитными тормозами. Так же автоматически производится отмеривание воды и контроль времени перемешивания бетонной массы.

Для укладки бетона на плотине Норрис служат 2 кабельные крана, устроенные в виде подвесной дороги на подвижных башнях. Башни передвигаются по рельсовым путям, уложенным вдоль высоких берегов речной долины (рис. 20). Пролет установки — 590 м при грузоподъемности каждой в 18 т. Укладка бетона производится специальными ковшами емкостью в 4,6 м³. Указанному способу укладки бетона было отдано предпочтение перед другими, главным образом.

вследствие -большого общего объема бетона. Помимо этого есть предположение повторно использовать подвесную дорогу па других постройках, ввиду чего башни собраны на болтах для легкой разборки. Скорость перемещения башни — 15 м в мин. при скоростях движения тележки (ковша): поступательной 365 м в мин., подъема — 91 м в мин. и спуска — 122 м в мин. Диаметр несущего каната 7,5 см, тележка имеет 12 колес диаметром 46 см и распределяет вес на длину каната

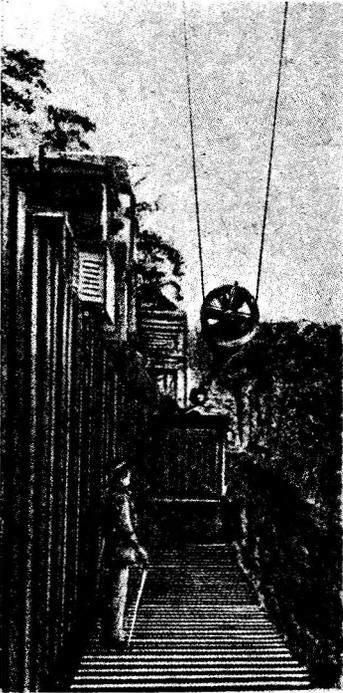


Рис. 21. Транспортировка бетона на плотине Норрис — погрузка бетона вагонетками в верхнюю эстакаду в ковш кабельного крана.

в 16,3 м. Каждая башня расположена на 4 тележках по углам; горизонтальные усилия от подвесной дороги уравниваются бетонными противовесами и упором особых горизонтальных тележек. Бетон подвозится к башне из центрального бетонного завода по ж. д. путям, расположенным параллельно путям башен, но ниже их на 32 м. Бетон перевозится в специальных опрокидывающихся вагонетках (рис. 21), останавливающихся на особой эстакаде и опоражнивающихся непосредственно в ковш кабельного крана (рис. 22), устанавливаемый у эстакады на площадке. Вагонетка с бетоном разгружается в 20 сек. Открытие ковша на месте укладки бетона осуществляют сжатым воздухом, прикладывая конец высоконапорного пневматического трубопровода к отверстию открывающего механизма (рис. 23). После опорожнения ковша, последний автоматически закрывается под действием противовеса ¹⁾. Благодаря специально устроенному на дне ковша порогу, играющему роль гасителя, регулируется скорость выливания бетона и парализуется вредный для подъемного механизма рывок при этом. Плотина Норрис бетонируется отдельными блоками (секциями), имеющими размеры: в длину (вдоль оси плотины) — 17 м и в ширину — местами до полного контура плотины. Две стальные напорные, подводящие к ГЭС трубы $\delta = 6$ м, проходят сквозь две соседние секции плотины. Бетон укладывается слоями высотой 1,5 м, причем после укладки указанного слоя в одной секции приступают к бетонировке другой секции (в шахматном порядке) (рис. 24). Уложенный слой в 1,5 м высоты твердеет в продолжение 72 часов, после чего он перекрывается следующим слоем бетона. Такой порядок бетонирования дает возможность и время для рассеяния тепла, образующегося при схватывании и твердении бетона. При бетонировании плотины Норрис решено было отказаться от устройства ступенчатых штраб на поверхности каждого слоя и делать их ровными. Связывающее же и уплот-

¹⁾ Применялся и другой тип ковша с дном в виде резинового фартука на затворе из валиков; при отодвигании затвора фартук провисал и ковш опоражнивался (Der Bauingenieur, № 35/36. 1936).

няющее действие штраб решено было компенсировать приданием каждому слою поверхностного 5% уклона от низовой к верховой грани

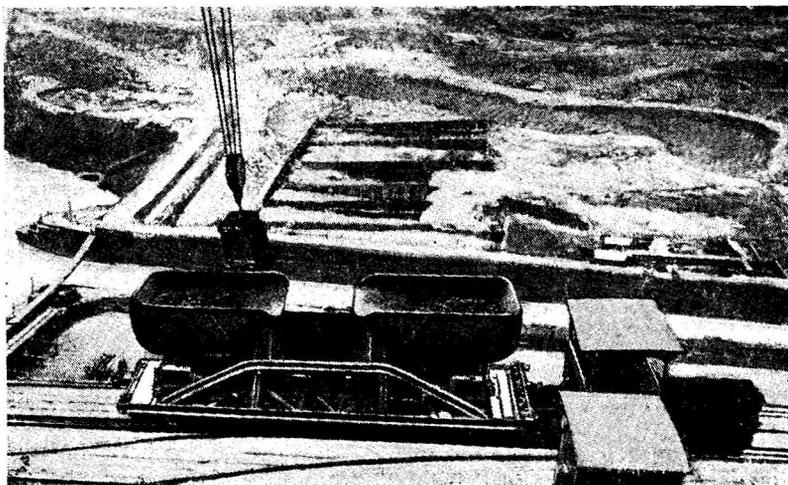


Рис. 22. Опрокидывающиеся вагонетки с бункером посередине для загрузки бетона в ковш кабельного крана.

(сравнить с плотиной Пайн-Кэнион). Ровная поверхность бетона, получающаяся благодаря отсутствию штраб, позволила применить на пло-

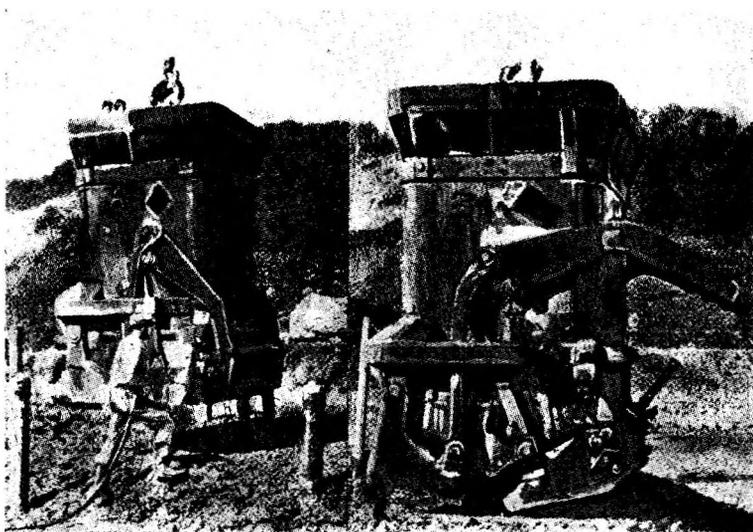


Рис. 23. Открытие ковша с бетоном емкостью 6 куб. ярдов (4,60 м³) помощью сжатого воздуха.

тине Норрис для установки и снятия щитовой опалубки (рис. 25 и 26) специальный подвижной кран на колесах, передвигающийся по

поверхности бетона. и, таким образом, совершенно разгрузить от этих операции основной кабельный кран.

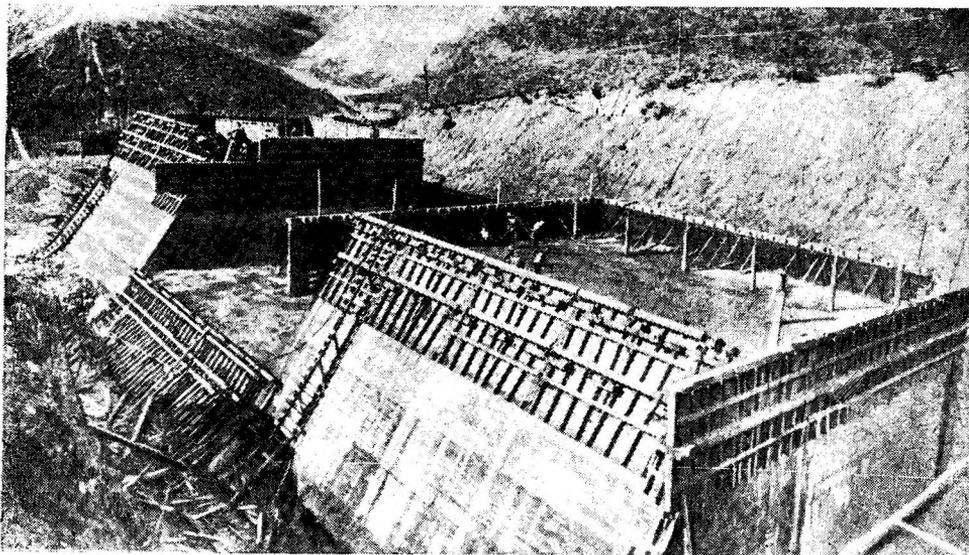


Рис. 24. Бетонирование плотины Норрис.

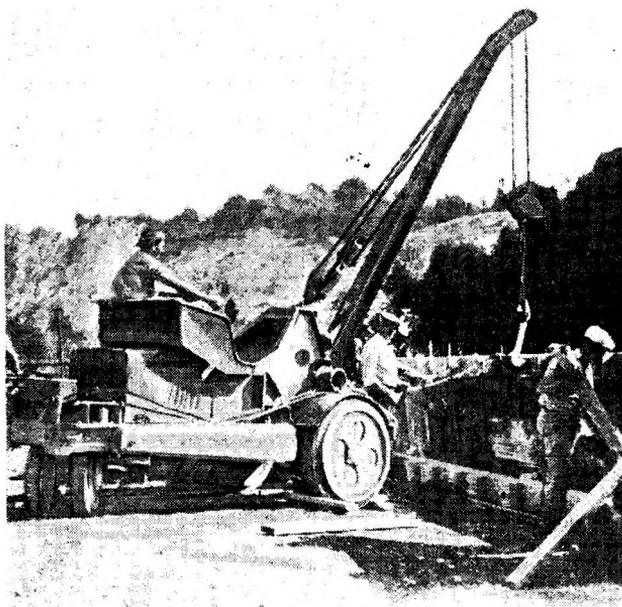


Рис. 25. Катучий кран для установки щитовой опалубки.

Укладка каждого слоя в 1,5 м начинается от верховой грани. В связи с применением, малопластичного сравнительно сухого бетон-

ного состава¹⁾ с значительным содержанием булыжника предусмотрены мероприятия для тщательного уплотнения каждой порции бетона и к полному ее соединению с ранее уложенными порциями, с которыми она приходит в соприкосновение. Для проработки бетонной массы применяются первибраторы и вибраторы платформенного типа (рис. 27). Для проработки 4,6 м³ (емкость одного ковша) сравнительно сухого бетона требуется по данным строительства 1½ мин., при этом поверхность бетона уже становится влажной.



Рис. 20. Установка щитов опалубки и укрепление ос стяжками и подпорками из газовых труб.

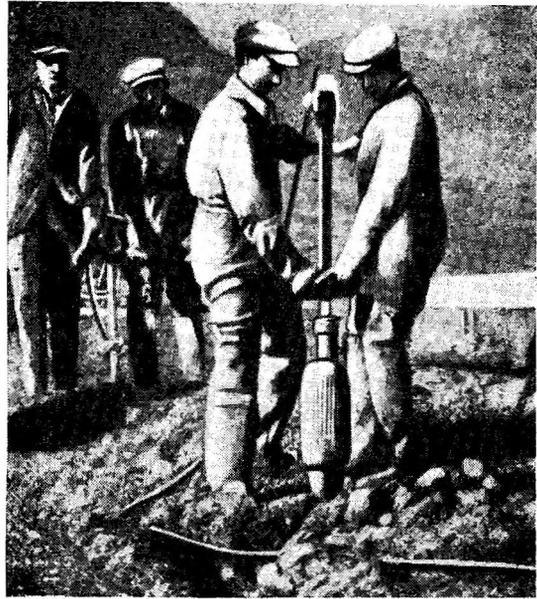


Рис. 27. Применение первибраторов на плотине Норрис.

По плану плотина Норрис должна была быть закончена в конце 1935 г., после чего вскоре должно было начаться наполнение водохранилища.

§ 6. Опытная и исследовательская работа в США

Для характеристики научно-исследовательской работы, проведенной в США в области гидротехнических бетонов, остановимся на рассмотрении сделанных там работ в направлении: 1) исследований свойств массового бетона и опытов над различными цементами и 2) изучения производственных факторов, в свою очередь влияющих на эти свойства — таковы в частности применение вибрации при массовом бетоне, зимнее бетонирование и уход за бетоном.

1. В отношении характеристики исследований, свойств цемента и

¹⁾ К сожалению, мы пока не располагаем подробными сведениями о составе этого бетона.

бетонов в рассматриваемой нами группе сооружений, необходимо подчеркнуть, что работа в США в этом отношении исходит, главным образом, из изучения и исследований термических свойств и явлений в массовом бетоне. Поэтому одновременно со стремлениями достигнуть наибольшей водонепроницаемости бетонов (исследование влияния гранулометрического состава, дозировки цемента и воды, консистенции и пр.) все большее и большее место отводится изучению усадки бетонов, как главному фактору образования трещин в бетоне, обуславливающих разрушение сооружений. Отсюда понятна концентрация внимания на вопросе понижения температуры гидратации цемента, приведшая в итоге многочисленных работ к созданию *специальных сортов цементов с малым теплообразованием*, примененных в ряде построенных крупных бетонных плотин, как например: Баульдер, Пайн Кэнион и др. Остановимся на главнейших работах в этом направлении.

А. Опыты Ирригационного бюро (Bureau of Reclamation) — работы Сэвэджа, Стиля и Блэнкса.

Мы уже разбирали работы Д. Сэвэджа и Р. Ф. Блэнкса (Ирригационное бюро), производивших свои исследования применительно к плотине Баульдер по вопросам, связанным с влиянием состава цемента на выделение тепла, прочность и изменение объема бетона; при этом, наряду с нормальным влажным хранением, рассматривалось и хранение образцов в адиабатических условиях, соответствующих реальным условиям твердения бетона в массивах. Рассмотрим теперь исследования указанных авторов, связанные с важнейшими свойствами *массового бетона*.

Приступая к специальным опытам и изучению вопроса о массовом бетоне для плотины Баульдер, Ирригационное бюро на основании данных своих многочисленных прежних работ исходило из нежелательности (в отношении однородности бетона) вводить в бетонную массу твердые скальные материалы («изюм») более крупного размера, чем это позволяет бетономешалка, естественно специально приспособленная для работы с крупными фракциями инертных.

Применение на плотине Баульдер в качестве максимальной камневидной составляющей, пропускаемой через бетономешалку — 9" (22,9 см) булыжников, сильно усложнило вопрос о контрольных испытаниях, в частности выбор размера контрольных образцов. Принятое Ирригационным бюро положение, чтобы диаметр контрольного цилиндра был не менее четырехкратного диаметра крупнейшей частицы инертных материалов, требовало для булыжника размером в 22,9 см испытания цилиндра с диаметром в 91,5 см при высоте их 1,83 м и с потребной кубатурой в 1,2 м³ бетона. Естественно, что было чрезвычайно важно, особенно для полевых испытаний, контролировать качества и свойства рабочего состава бетона, применяя меньший размер образцов с соответственно меньшим диаметром наибольших частиц.

Для решения этого вопроса лабораторией Ирригационного бюро в Денвере были испытаны на сжатие различные цилиндры диаметром В 2, 6, 8, 12, 18, 24 и 36 дм. (т. е. в 5,1, 15,2, 20,3, 30,5, 45,7, 61 и 91,5 см) с соответственным при этом увеличением максимального диаметра зерна от 3/8 до 9 дм. (т. е. от 1 до 22,9 см). Практически получение бетонов с различными максимальными диаметрами зерен производилось удалением из готового бетона (приготовленного с булыжником размером в 22,9 см) камневидной добавки большего размера, чем

величина установленного для этого опыта максимального диаметра частиц.

Это достигалось «процеживанием» ¹⁾ готового бетона принятого рабочего состава (включая все фракции от 1,0 до 22,9 см), который, таким образом, для достижения большой однородности результатов принимался как бы за единый исходный состав.

На кривой (рис. 28) представлена зависимость временного сопротивления бетона на сжатие от размера опытных цилиндров. Величина прочности на сжатие отложена в процентах, причем прочность цилиндров размера 6 X 12" (15,2 X 30,5 см) принята за 100%. Опыты уста-

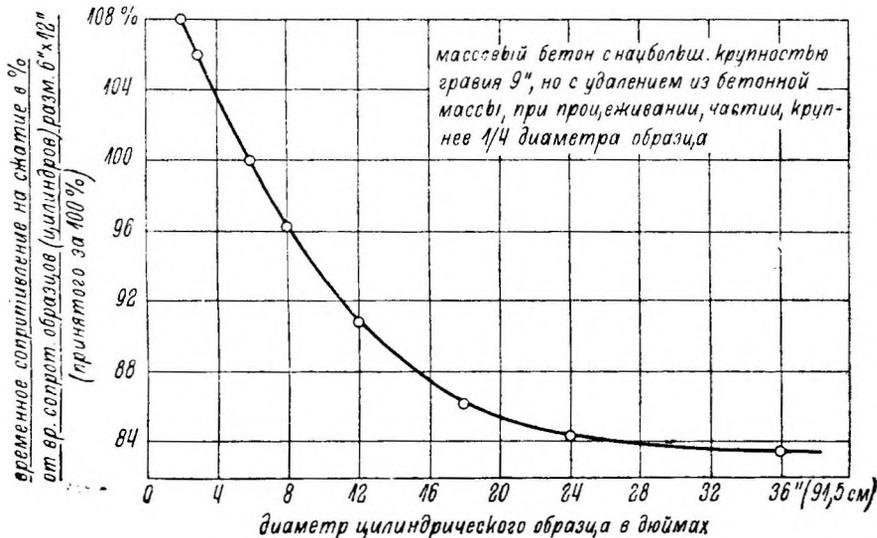


Рис. 28. Влияние размера образцов на временное сопротивление бетона.

новили возрастание временного сопротивления бетона на сжатие с постепенным уменьшением величины образца. Прочность цилиндра размера 6 X 12" (15,2 X 30,5 см) равна 100%, для цилиндра в 36 X 72" (91,5 X 183 см) она равна 84%, для цилиндра же 2 X 4" (5,1 X 10,2 см) — соответственно 106%. При этом, однако, необходимо отметить, что, наряду с выявленной зависимостью прочности бетона от размера образца, не обнаружено определенной закономерной зависимости прочности бетона от размера инертных. Таким образом, невидимому, средние цифры, представленные кривой (рис. 28), относятся в известных пределах к любой крупности инертных от 1,0 см до 23 см, испытанных в цилиндрах, при соблюдении одного лишь условия чтобы размер наибольшей крупности зерен не превосходил 1/4 диаметра образца.

Влияние максимальной крупности инертных на потребность в цементе и в воде представлено на рис. 29 и 30. В этих опытах применя-

¹⁾ Американский термин „wet-screened“, что обозначает просеивание во влажном состоянии. В дальнейшем изложении для краткости мы такой бетон будем называть — *процеженный* в отличие от *полного* (full-mass) бетона, приготовленного с инертными всех фракций (до 22,9 см, включительно). Об исследовании вопроса влияния подобного процеживания — см. ниже.

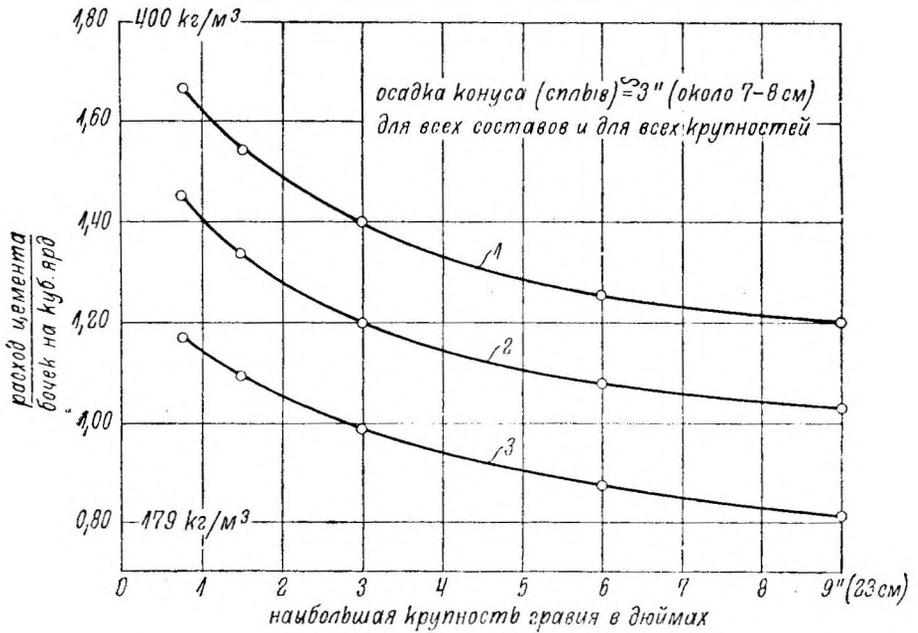


Рис. 29. Расход цемента на 1 м³ бетона в зависимости от наибольшей крупности гравия для 3 значений водо-цементного отношения.

- 1 — цементно-водное отношение = 2,13 $\left(\frac{W}{C} = 0,47\right)$,
 2 — цементно-водное отношение = 1,85 $\left(\frac{W}{C} = 0,54\right)$,
 3 — цементно-водное отношение = 1,52 $\left(\frac{W}{C} = 0,66\right)$.

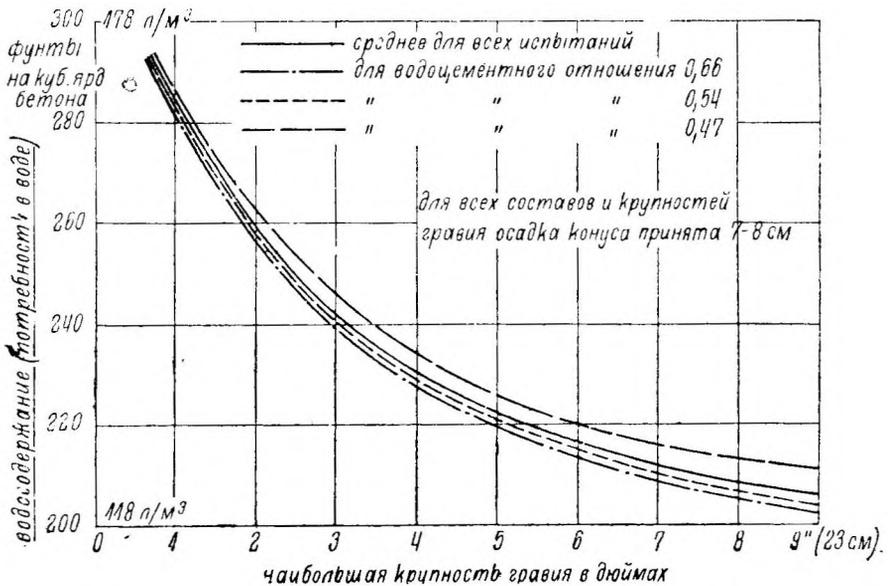


Рис. 30. Водопотребность бетона в зависимости от наибольшей крупности гравия при сплыве примерно в 3'' (т. е. для осадки конуса в 7—8 см).

лись 3 серии бетонов, соответственно 3 значениям цементно-водного отношения $\frac{C}{W}$, а именно: 1,52, 1,85 и 2,13. Для каждого из указанных значений $\frac{C}{W}$ готовились образцы бетона 1 постепенно изменяющейся максимальной крупностью частиц от 9 до $\frac{3}{4}$ " (22,9 — 1,9 см). Рис. 29 и 30 дают зависимости (для бетонов с 3 указанными значениями $\frac{C}{W}$)

потребного количества цемента и воды от максимальной крупности зерен. При этом для всех серий бетонов выдерживается

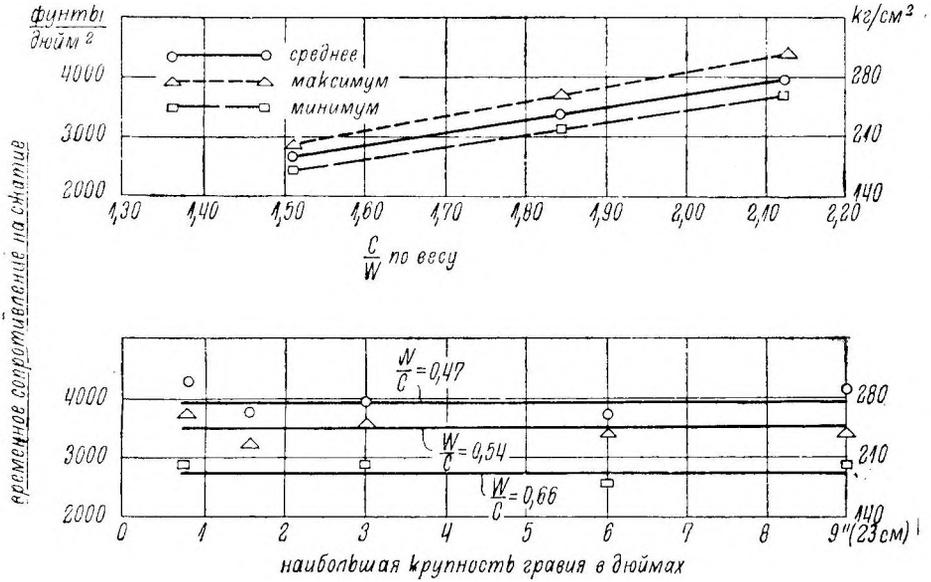


Рис. 31. Временное сопротивление бетона на сжатие (среднее для 28 и 90-дневных испытаний) в зависимости от $\frac{W}{C}$ и наибольшей крупности гравия.

Данные получены для образцов размером 91,5 см X 183 см (36" X 72").

постоянная консистенция и неизменная величина осадки конуса, равная примерно 3" (7,5 см). При рассмотрении полученных кривых обращает на себя внимание, что количество потребного цемента на 1 м³ бетона для каждого значения максимального размера инертных весьма различно при различных значениях $\frac{C}{W}$; в то же время общая потреб-

ность в воде (на 1 м³ бетона) для всех 3 серий практически одинакова. Иными словами количество воды, потребное для получения бетона данной консистенции (опływ 7,6 см) и состава инертных, но зависит от степени жирности смеси (содержания цемента) и остается постоянным. Приводимые результаты подтверждают аналогичное мнение, высказанное Мак-Милланом¹⁾,

Рис. 31 изображает изменение прочности бетона на сжатие в зависимости от максимальной крупности зерен и значения цементно-водного отношения, взятого по весу. Испытания производились на цилин-

¹⁾ Me. M i l l a n, Basic Principles of Concrete Mixing (Bug. News-Rec., April 11, 1920).

в бетонных массивах крупных фракций инертных материалов. Однако наибольший размер зерен ограничен конструкцией бетономешалок и условиями укладки.

Опыт плотины Баульдер показал, что 22,9 см булыга является предельным размером, который еще можно эффективно и экономически обоснованно перемешивать и укладывать; но этот предел *уже* вызывает ряд затруднений. Кроме того, в литературе имеются указания, что под круглыми камнями во время укладки возможно образование раковин, а также мест, заполненных «пленкой» цементного молока.

На основании всего изложенного Ирригационное бюро приняло для последующих работ 15,2 см. как максимально допустимый размер

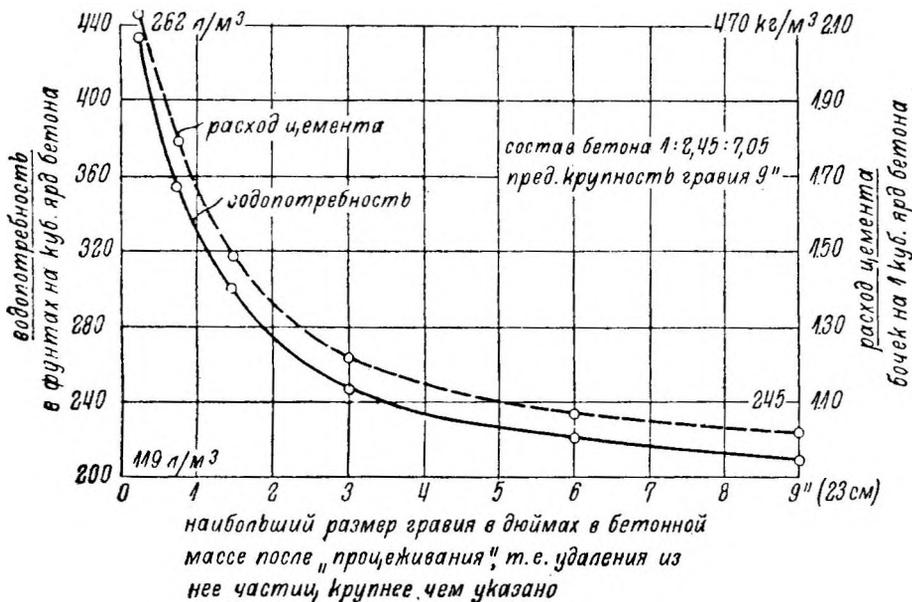


Рис. 33. Влияние удаления из свежего бетона частиц крупнее $\frac{1}{4}$ диаметра образца («процеживание») на водопотребность бетона и на расход цемента. Все образцы размером 91,5 см X 183 см (цилиндрические). Осадка конуса во всех случаях 7—8 см.

крупных инертных материалов. Разница 5% в коэффициенте использования цемента, получающаяся при переходе от 22,9 к 15,2 см (как максимальному размеру частиц) с избытком компенсируется большей легкостью контроля приготовления и укладки бетона и большей гарантией достижения полной однородности готового бетона.

Как уже было сказано выше, при полевых испытаниях бетона на плотине Баульдер технически невозможно было производить испытания с наличием в бетоне 22,9 см булыг, так как это потребовало бы применения цилиндров слишком большого размера, высотой 22,9 X 4 см, т. е. 91,5 X 1 183 см. Чтобы избежать этого и перейти к испытанию цилиндров меньшего размера, необходимо было удалить из готового бетона, приготовленного со включением всех фракций, включая и 22,9 см. крупные фракции до размера, соответствующего размеру применяемого испытательного образца (т. е. равного $\frac{1}{4}$ от его диаметра). Это удаление достигалось «процеживанием» «полного» бетона. Ирригационное бюро в своих исследованиях свойств бетона плотины

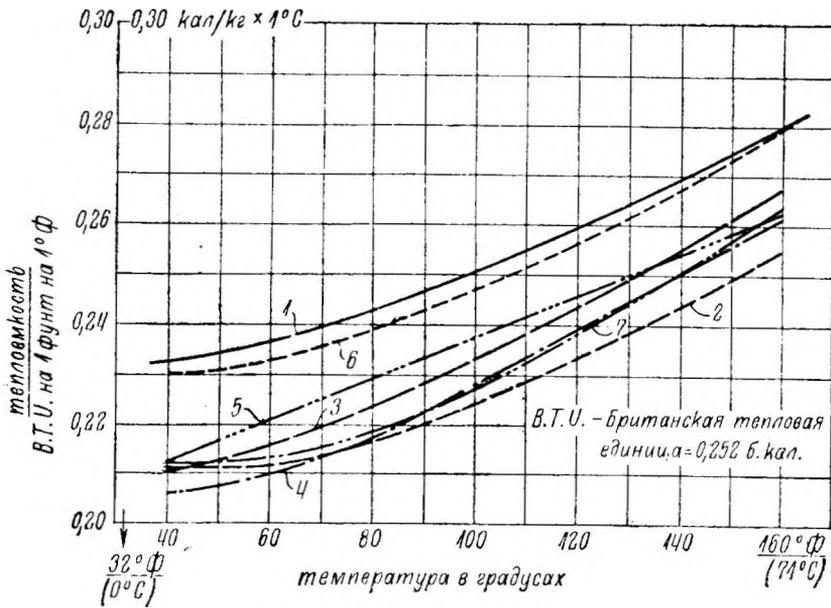


Рис. 36. Теплоемкость бетона для некоторых главнейших плотин США.

1 — плотина Норрис, 2 — плотина Баульдер, 3 — плотина Гибсон, 4 — плотина Оуахи, 5 — плотина Буль-Ран, 6 — плотина Ариель, 7 — плотина Пайн-Кэннон.

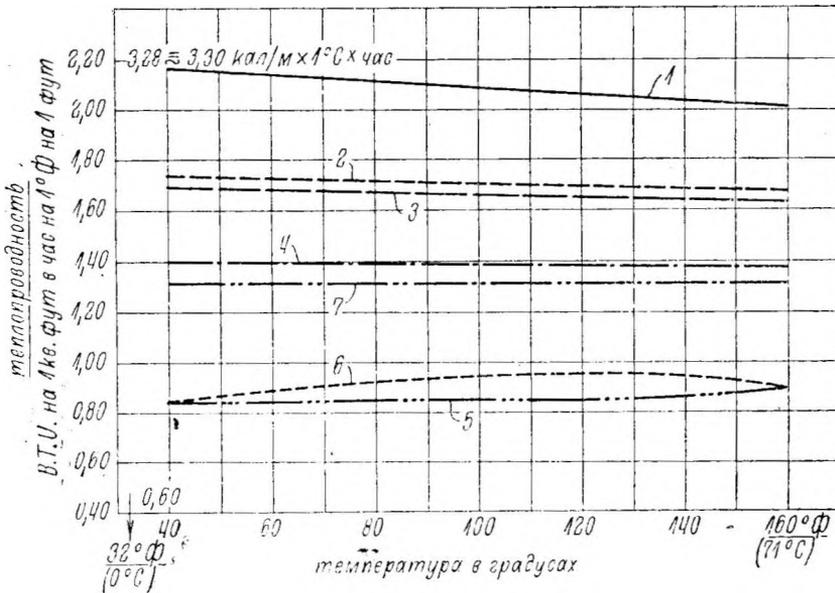


Рис. 37. Теплопроводность бетона для некоторых главнейших плотин США.

1 — плотина Норрис, 2 — плотина Баульдер, 3 — плотина Гибсон, 4 — плотина Оуахи, 5 — плотина Буль-Ран, 6 — плотина Ариель, 7 — плотина Пайн-Кэннон.

Баульдер специально осветило вопрос о влияниях указанного «процеживания». На рис. 33, 34 и 35 даны кривые зависимости от этого фактора содержания в бетоне цемента, воды, а также временного сопротивления и коэффициента использования цемента.

На рис. 35 по оси ординат даны средние значения временного сопротивления бетона при данной предельной крупности гравия после «процеживания» и для указанных размеров образцов. Прочность бетона, приведенная к временному сопротивлению образцов 36" X 74", остается постоянной с отклонением порядка $\pm 3\%$. Бетон состава 1 : 2,45 : 7,05 при наибольшей крупности гравия 9".

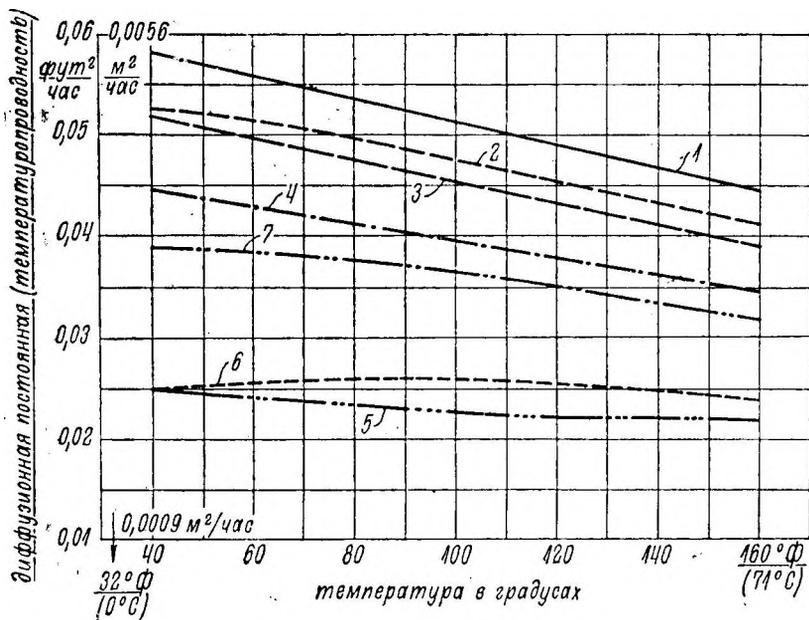


Рис. 38. Диффузионная постоянная (температуропроводность) для некоторых главнейших плотин США.

1 — плотина Норрис, 2 — плотина Баульдер, 3 — плотина Гибсон, 4 — плотина Оуахи, 5 — плотина Вуль-Ран, 6 — плотина Ариель, 7 — плотина Пайн-Кэннон.

При изучении свойств этой категории гидротехнических бетонов Ирригационное бюро удалило также весьма большое внимание изучению их термических свойств: теплопроводности, диффузионной постоянной, а также характеристике бетонов в отношении теплоемкости (удельной теплоты)¹⁾. На рис. 36, 37 и 38 приведены значения этих свойств для нескольких американских массивных плотин (Норрис, Баульдер, Буль-Раи, Гибсон, Пайн-Кэннон, Ариель и Оуахи). Как видно из этих кривых, указанные свойства варьируют в довольно ши-

¹⁾ Многие опыты по исследованию бетона для плотины Баульдер были проделаны на постройке плотины Оуахи, законченной в 1932 г., сходной с плотинной Баульдер и со стороны методов проектирования, и со стороны производственной. Плотина Оуахи — гравитационная плотина в форме арки, наибольшей высотой — 123 м и длиной по гребню — 260 м. Назначение ее пока чисто ирригационное. Плотина Оуахи менее массивна, чем плотина Баульдер; отношение ширины ее основания к высоте = 0,65, тогда как у плотины Баульдер это отношение значительно больше (см. выше).

роких пределах, что зависит, по мнению Иригационного бюро, от трех основных факторов, а именно: 1) минералогического состава инертных, 2) содержания воды в бетонной смеси и 3) температуры бетона.

Под понятием и при определении диффузионной постоянной или температуропроводности ¹⁾ бетона следует понимать отношение:

$$\frac{\lambda}{C \cdot \gamma},$$

где: λ — теплопроводность,

C — теплоемкость и

γ — плотность бетона; при этом размерность этой величины есть:

$$\frac{\text{м}^2}{\text{час}}, \text{ т. е. } \frac{\text{площадь}}{\text{время}}.$$

Чем меньше значение диффузионной постоянной бетона, тем большее время требуется для его охлаждения при прочих равных условиях. Из кривых рис. 38 видно, что бетоны, имеющие наивысшее значение диффузионной постоянной, охладятся бы вследствие некоторого заданного понижения температуры, примерно, вдвое быстрее бетонов с наимизшим значением диффузионной постоянной ²⁾. При лабораторных исследованиях в Денвере термических свойств бетона в массивах с соблюдением температурных условий, соответствующих режиму плотин, получилось полное совпадение с полевыми данными. На приведенных кривых указанные термические свойства выражены в следующих единицах измерения:

1) теплоемкость выражена в британских тепловых единицах ³⁾ на английские фунты и градусы Ф ⁴⁾, или

$$\frac{\text{В. Т. У.}}{\text{фн.} \times 1^\circ\text{Ф}} \approx \frac{\text{кал}}{\text{кг} \times 1^\circ\text{С}};$$

2) теплопроводность:

$$\frac{\text{В. Т. У.} \times \text{фут.}}{\text{фут.}^2 \times \text{час} \times 1^\circ\text{Ф.}} = \frac{1,49 \text{ кал}}{\text{м} \times 1^\circ\text{С} \times \text{час}};$$

3) диффузионная постоянная дана как частное:

$$\frac{\text{теплопроводность}}{\text{удельная теплота} \times \text{плотность}} = \frac{\text{фут.}^2}{\text{час}} = \frac{0,093 \text{ м}^2}{\text{час}}.$$

Влияние температуры бетона на его свойства при укладке показано на рис. 39, 40 и 41.

Влияние температуры при укладке на консистенцию бетона данного состава и постоянного водоцементного отношения изображено на рис. 39. При понижении температуры с 70° до 45° Ф (с 21° до 7,5° С)

¹⁾ Терминология этой величины пока еще не установилась. Ф. Ф. Губин (Гидроэлектростроительство США) употребляет термин „диффузионная постоянная“, другие же авторы применяют термин „температуропроводность“.

²⁾ Необходимо отметить, что наивысшие значения теплоемкости, теплопроводности и диффузионной постоянной, как это видно из рис. 36 — 38, получились для плотин Норрис и Баульдер — самых современных, ныне строящихся бетонных плотин США.

³⁾ 1 британская тепловая единица (В. Т. У.) = 0,252 б. кал.

⁴⁾ Шкала Фаренгейта.

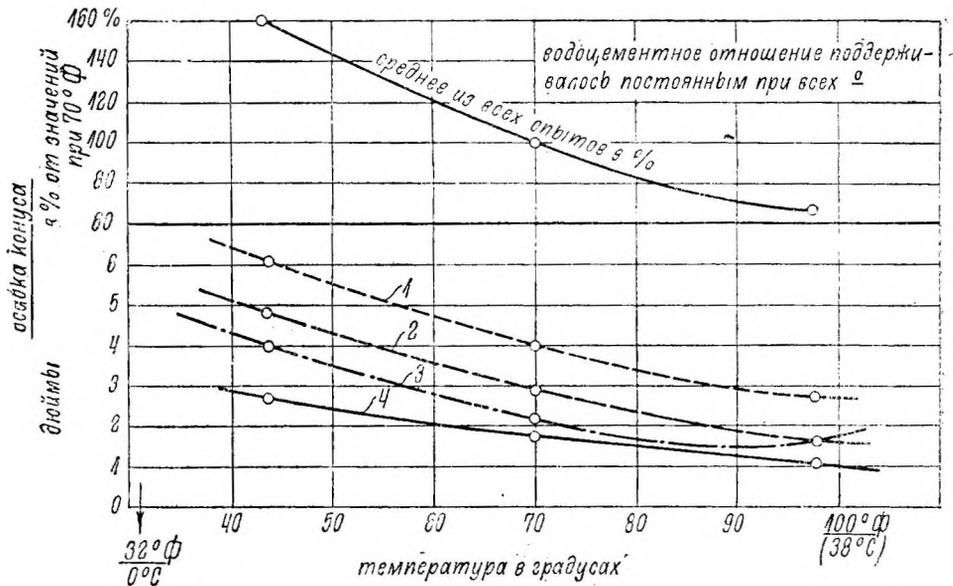


Рис. 39. Влияние температуры бетона при укладке на его консистенцию.

1 — бетон с наибольшей крупностью зерен в 1½", 2 — бетон с наибольшей крупностью зерен в 3" всеми фракциями до 6" включительно, 4 — раствор с наибольшей крупностью зерен, соответствующей сите № 4.

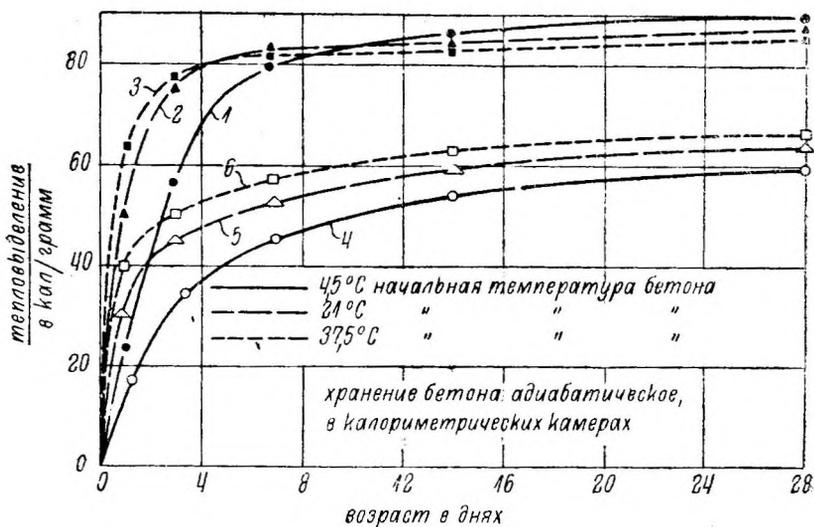


Рис. 40. Зависимость тепловыделения (экзотермии) от начальной температуры бетона при укладке для нормальных портланд-цементов и цементов с М. Т. О. (до 28-дневного возраста).

1 — нормальные стандартные портланд-цементы, 2 — нормальные стандартные портланд-цементы, 3 — нормальные стандартные портланд-цементы, 4 — цементы с М. Т. О., 5 — цементы с М. Т. О., 6 — цементы с М. Т. О.

спływ увеличивается, примерно, на 55%; при повышении же температуры с 70° до 95° Ф (с 21° до 35° С) величина спльва уменьшается на 35%.

Влияние температуры при укладке на тепловыделение (экзотермия) при начальных температурах укладываемого бетона в 4,1° 21°, 37,5° G (40°, 70° и 100° Ф) показано на рис. 40. Образцы наблюдались в условиях адиабатического хранения в возрасте до 28 дней.

На рис. 41, наконец, даны зависимости временного сопротивления бетона от начальной температуры при его укладке, при разных условиях хранения образцов в возрасте их до 90 дней. При построении кривых рис. 41 брались средние значения, полученные для 7 сортов цемента с малым теплообразованием (М. Т. О.), испытанных в образцах 2" X 4", 3" X 6" и 6" X 12" (5,18 X 10,2, 7,6 X 15,2, 15,2 X 30,5 см).

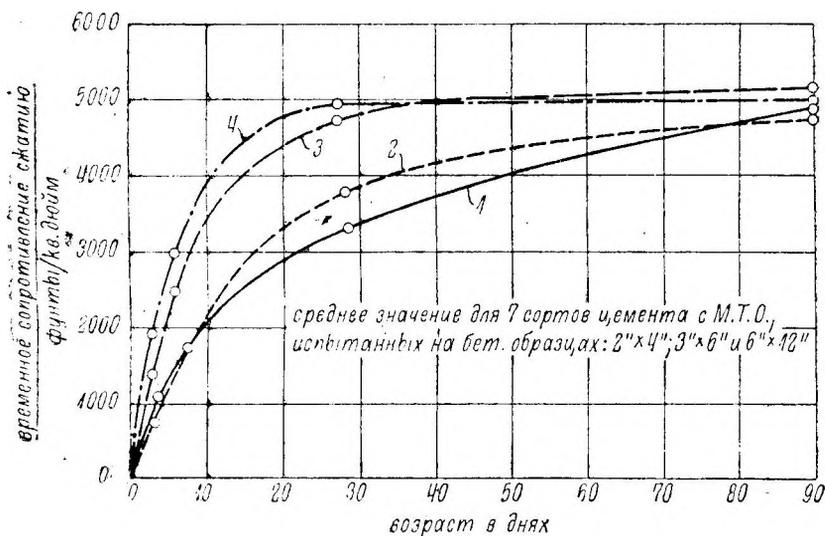


Рис. 41. Зависимость временного сопротивления сжатию от условий хранения образцов для цемента с М. Т. О.

1 — нормальное хранение во влажной камере при 21° С, 2 — адиабатическое 28-дневное хранение с начальной температурой 4,5° С, 3 — адиабатическое 28-дневное хранение с начальной температурой 21° С, 4 — адиабатическое 28-дневное хранение с начальной температурой 37,5° С.

Аналогичные зависимости были выведены и для бетонов с применением 5 сортов стандартных портланд-цементов.

Б. Работы Карлсона, Bates'a и Davis'a

Первый из указанных авторов, Р. В. Карлсон¹⁾, подробно останавливается на вопросе о новых цементах (low-heat) и об их значении при твердении *массового бетона*, для которого он (автор) считает необходимым соблюдение следующих условий:

1) Относительно низкая температура при гидратации с учетом последующего охлаждения.

2) Достаточно быстрое нарастание прочности для возможности снятия опалубки в кратчайший срок.

¹⁾ R. W. Carlson. Developing Low-Heat Cement for Mass Concrete (Eng. News Rec., vol. 109, № 16, 1932).

3) Конечная прочность бетона в соответствии с проектом.

4) Малые объемные изменения для предотвращения поверхностных трещин.

5) Достаточные долговечность и сопротивляемость атмосферным воздействиям.

6) Малая водопроницаемость.

Понижение температуры гидратации может быть достигнуто:

а) употреблением малого количества цемента в бетоне;

б) медленной укладкой бетона, допускающей достаточную теплоотдачу в атмосферу;

в) употреблением специальных цементов¹⁾.

Так как условие «а» снижает качество бетона, а условие «б» задерживает темпы производства работ, то необходимо все внимание сосредоточить на исследовании третьего условия и, в первую очередь, точнее подойти к вопросу влияния на свойства цемента различных его составных частей. Частицы разного химического состава требуют для своей гидратации различных промежутков времени²⁾. Частицы трехкальциевого алюмината весьма быстро гидратируются (в пределах 1 дня), трехкальциевого силиката — в неделю, частицы же двухкальциевого силиката имеют весьма медленную гидратацию. Сводя влияние на свойства цемента различных его составных частей, а также, сравнивая различные сорта цемента, получим табл. 7 и 8.

Таблица 7

Свойства цемента	Трехкальциевый силикат	Двухкальциевый силикат	Трехкальциевый алюминат	Тетракальциевый алюмо-феррит (броунмиллерит)
Вяжущие свойства..... Продолжительность гидратации Количество выделяемого тепла	Хорошие Средняя Среднее	Хорошие Медленная Малое	Слабые Быстрая Большое	Слабые Медленная Малое

На основании вышеизложенного, ссылаясь на опыты Ирригационного бюро (Денвер, Колорадо), Риверсайд — Цемент К⁰ (Калифорния)³⁾ и др., Карлсон приходит к выводу, что современные тенденции улучшения портланд-цемента заключаются в *выборе продукта, напоминающего старые сорта цемента, но лишённого его недостатков* (уменьшение процентного содержания 3CaOSiO_2 и $3\text{CaOAl}_2\text{O}_3$ с одновременным увеличением $s\text{CaOSiO}_2$, добавка к цементу при размальвании кремнезема и т. д.). Бее эти мероприятия снижают температуру гидратации на 25%: если добавить к этому возможность производить цемент более тонкого помола, то будет достигнута также и большая удобообработываемость бетона, прочность и водонепроницаемость.

1) Автор здесь не упоминает об искусственном охлаждении, примененном на плотине Баульдер, хотя он и принимал участие в исследованиях бетона для этой плотины.

2) См. проф. В. А. Книд и доц. С. Д. Окороков, Строительные материалы, стр. 187.

3) Woods, A., Steynour and Starke, The Heat Evolved by Cement During Hardening (Eng. News-Rec., vol. 109, № 14, 1932).

Таблица 8

Сравнение в отношении химического состава свойств различных сортов цемента:

а) старые сорта цемента; б) современный портланд-цемент и в) современный цемент с малым теплообразованием:

Цемент	3CaOSiO_2 %	2CaOSiO_2 %	$3\text{CaOA1}_2\text{O}_3$ %	Тонкость по- мола — про- шло через сито с 200 отв. на пог. дм% ¹⁾)	28-дневная прочность на сжатие раствора 1: 3 кг/см ²	Выделение тепла на 28-й день кал/г
Средние дан- ные 1890 г.	31	36	18	80	105	90
Стандартный портланд-це- мент 1932 г.	55	23	11	90	280	100
Цемент с ма- лым тепло- образованием плотины Цайн- Кэнион 1932 г.	30	46	5	92	170 (при ми- нимуме в 140)	75 (при максимуме в 80)

Высказанный взгляд и характеристика развития получения специальных цементов разделяются в США и другими видными работниками в этой области. Например, на последней конференции Американского института бетонов, происходившей в Нью-Йорке в феврале месяце 1935 г., вопрос о специальных цементах сконцентрировался вокруг доклада, сделанного Р. Н. Bates'ом (Бюро стандартов, он же председатель Института бетонов). В своем докладе Bates *тоже высказал убеждение, что новые цементы есть в сущности возрожденные старые их сорта*, и что применение новых сортов цемента вызывается не столько неудачами со стандартным портланд-цементом, сколько желанием хорошую работу²⁾ сделать еще лучше. Докладчиком предложена была спецификация для 5 типов цементов: портланд-цемент, видоизмененный портланд-цемент (содержащий не более 5% примесей других материалов), пуццолановый портланд-цемент, высокосортный (быстро-твердеющий) и натуральный. Эти цементы должны удовлетворить 4 требованиям соответственно природе массового бетона: умеренное значение требуемой прочности, низкая температура твердения, сульфатостойкость и быстрое нарастание прочности.

Здесь необходимо отметить, что до сего времени в США пуццолановые цементы не получили значительного распространения и применения на строительстве крупных бетонных плотин и других гидросооружений. Это недоверие к пуццолановым цементам объясняется на наш взгляд отчасти недостаточной еще изученностью пуццолановых цементов, особенно в сооружениях столь крупных размеров, как современные высокие плотины, отчасти же. (а, может быть, и главным) об-

1) 200 отв/пог. дм составляют 6 200 отв/см².

2) Мы считаем это положение неправильным, так как недостатки портланд-цементов, особенно в отношении водостойкости, бесспорны.

разом) нежеланием американской цементной промышленности перестраиваться на производство пуццоланевых портланд-цементов, а потому тормозящей дело их развития. В настоящее время следует констатировать безусловный перелом в этом отношении; поэтому весьма интересно будет отметить подробный доклад о пуццолановых цементах, сделанный на вышеуказанном: последнем Общем собрании Института бетонов в феврале 1935 г. на основе работ и исследований проф. R. Davis'a, J. Kelly, G. Troxell'я и H. Davis'a, проведенных ими в Калифорнийском университете. Было испытано до 80 типов цементов с добавками. В качестве добавок применялись: 1) диатомиты, 2) вулканические почвы, 3) кремнеземистые горные породы, 4) глины и 5) известняки. Отмечается способность пуццолановых портланд-цементов *быстрее отдавать тепло и выделять его в меньшем количестве по сравнению с портланд-цементами с значительным содержанием извести*¹⁾. Это свойство пуццолановых портланд-цементов является весьма, важным для массового бетона²⁾.

2. Переходя к вопросу о применении вибрации, необходимо подчеркнуть всю важность требования оперировать при бетонировке массивных гидросооружении с совершенно *однородным бетоном*, так как при этом условии бетон в массиве будет достаточно сходен с бетоном, испытываемым в образце. Без соблюдения этого условия не может быть гарантии в необходимом качестве бетона, так как хорошие качества образцов не доказывают (в этом случае) хорошего качества бетона. Для получения же такового необходимо, кроме надлежащих по качеству материалов, иметь и надлежащее *уплотнение* бетонной массы. В этом отношении, как показывает опыт, очень большую роль может сыграть вибрация бетона и в этом (в достижении наибольшей однородности бетона) едва ли *не самое главное ее значение*.

Вибрация бетона нашла себе широкое применение при укладке массового бетона в США (таковы, например, плотины Пайн-Кэннон, Кэльдервуд, Шют оф Кэрон, Норрис и др.).

Вопрос о применении вибрации был всесторонне рассмотрен при разработке и обсуждении проекта Гуверовской плотины, где были проделаны по этому вопросу многочисленные исследования. Опыты проф. Davis'a, Powers'a и Nealy показали полное превосходство вибрированного бетона над трамбованием вручную. При опытах применяли: гравий величиной до 15 см и песок — до 6 мм. Величина оплыва изменялась для разных составов от 1,3 до 20,3 см. Вибраторы были с 4000—7000 ударов в минуту.

Выводы -проф. Davis'a:

1) Применение вибраторов имеет преимущество перед ручной работой, так как объемный вес вибрированного бетона *во всех случаях* выше предельно-возможного при ручном трамбовании.

2) Наибольшее давление на опалубку во время вибрации достигает 0,3—0,5 кг/см.

3) Получается возможность хорошо прорабатывать более крупные материалы и уменьшить отношение мелкой и крупной добавок.

¹⁾ American Concrete Institute Meeting (Eng. News-Rec., vol. 114, № 9, 1935).

²⁾ Необходимо отметить, что в разработке проблемы пуццолановых цементов, равно как и в вопросах исследования различных добавок и регламентации их применения на практике, СССР безусловно принадлежит первое место среди всех прочих стран. Ценные труды в этой области акад. А. А. В а й к о в а, проф. В. А. Кинда и проф. С. И. Д р у ж и н и н а справедливо заслужили всеобщее признание.

4) Увеличивается прочность (долговечность) бетона, его сопротивление атмосферным влияниям и уменьшается усадка (объемные изменения).

5) Внутренняя вибрация (первибрация) предпочтительнее наружной. Она способствует достижению равномерной плотности, предотвращает расслаивание бетонной массы и, *что особенно важно в массивах*, способствует хорошей связи в рабочих швах, когда после перерыва в бетонировке свежий бетон укладывается на уже затвердевшую поверхность.

6) Применение первибрации дает возможность прорабатывать массу и в малодоступных местах у опалубки, и в случае густой арматуры. оперируя со оплывом: в 5,1—7,0 см — в колоннах и балках и в 2,5 см — в массивах.

7) Вибрация, не изменяя основных свойств бетона, дает возможность применить более сухие смеси и экономить на цементе.

Это положение иллюстрируется следующими данными опытов Powers'a и Neal у в Давенпорте:

Изменение количества песка и цемента при одинаковой прочности бетона:

	Цемент кг/м ³	Песок %	
ручная работа.....	336	39	воды — 60 л на 100 кг цемента
один вибратор.....	234	31	
два вибратора	266	31	

Применение вибраторов дает возможность уменьшать водоцементное отношение, увеличивая этим водонепроницаемость (опыты Mac-Millan'a.) долговечность (Hugher'a), прочность (Woodworth'a) и огнестойкость (Menzel'я).

На вышеуказанной конференции Института бетонов (см. выше) вопросу вибрации было уделено большое внимание и было заслушано 10 докладов. Из докладчиков заслуживают быть отмеченными: *Lindau* (Чикаго), указавший, что -вибрация дает экономию в рабочей силе на 40—70% и экономию в цементе на 5—10% при удорожании опалубки на 5—10%.

Stanton (Калифорнийский дорожный департамент) сообщил, что на Оклэндском мосту для общей кубатуры 764 000 м³ бетона применялись дервибраторы двух типов: 1) малый электрический с 4 500 уд./мин и 2) большой пневматический, длиной 76,2 см и диаметром в 7,6 см с 10 000 и 8 000 уд./мин. Производительность его от 19 до 30 м³/час; бетоны с осадкой конуса от 2,5 до 10,2 см.

Johnson (Теннеси) сообщил, что на плотине Уилер производительность внутренней вибрации достигала от 9 до 28 м³/час. Ковши емкостью в 8 и более куб. ярдов требуют вибраторов с 2 рабочими для обслуживания. В составе бетона процент -песка снижен от 35 (при невибрированном бетоне) до 31.

Ben Morell (Бюро доков) привел данные о новых типах вибраторов, применяемых во Франции. Таков так называемый пловучий вибратор, состоящий из ковша, внутри которого помещена собственно вибрирующая часть. Ковш ставится на дно опалубки и закладывается со всех сторон бетоном. При последующей вибрации он как бы всплывает на поверхность. Кроме того, для массового бетона применяется поверхностный вибратор с дном в виде решетки для создания неровной поверхности бетона, благоприятствующей связи с последующим слоем.

Лабораторные опыты (Вискансинский университет) проф. *Withey* установили следующие результаты:

1) вибрированный бетон с содержанием цемента в 7—8% плотен, водонепроницаем и имеет прочность в $24G \text{ кг/см}^2$ на 28-й день;

2) составы бетона 1 : 10, 1 : 11,6 и 1 : 13,2 выдерживали 150-кратно замораживание (и оттаивание) и показали сопротивление на сжатие, равное 91—95% от такового, полученного для образцов при нормальном влажном хранении;

3) бетон состава 1 : 10 не пропускал воды под давлением в $2,8 \text{ кг/см}^2$;

4) вибрация позволила применить более сухую смесь, меньшее содержание цемента и более крупные инертные и получить водонепроницаемый и долговечный бетон с меньшими объемными изменениями.

3. *Вопрос об уходе за бетоном* сводится к обеспечению твердеющему бетону необходимых для этого условий как в отношении температуры, так и в отношении потребной для этого влажности, так как твердение портланд-цементов основано на присоединении воды к составляющим их химическим соединениям. Первая группа условий находит себе выражение в мероприятиях для защиты бетона от влияния мороза и для возможности производства работ в зимнее время; вторая же группа—касается защиты бетона от высыхания в самом широком значении этого слова.

В отношении зимнего бетонирования необходимо иметь в виду, что вопрос этот за последние годы весьма подробно разработан как в области исследовательской работы равных стран, так и в области практического его разрешения. В частности, в отношении бетонных массивов, рассматриваемых в настоящей главе, разрешение этого вопроса базировалось, главным образом, на значительном собственном теплообразовании (экзотермии) бетонных массивов и пошло по пути отказа, (для этого типа сооружений) от дорого стоящих тепляков, придя к различным схемам местных временных утеплений, переносным легким теплякам местного значения и т. д. *).

Для характеристики состояния этого вопроса в США приведем некоторые данные конференции Американского института бетонов, имевшей место в феврале месяце 1934 г. в Торонто (Канада)²⁾, а также последние работы Р. Р. Мас-Миллана³⁾ в лаборатории Американского портланд-цементного объединения. На указанной конференции было отмечено, что наиболее рациональным¹⁾ (из всех компонентов бетона) является подогревать воду, температуру каковой при этом можно доводить до 80°C ; вместе с тем необходимо принимать все меры к возможному уменьшению потери при транспортировке нагретого бетона. При предварительном подогреве инертных материалов нет надобности поднимать их температуру выше $+4$ — 5°C ; при этом песок рационально прогревать, насыпая его непосредственно на проложенные горячие трубы (паровые или водяные). Гравий же можно нагревать непосредственным действием пара, не опасаясь конденсационной воды. По вопросу об

¹⁾ Из опытов наших союзных гидростроек укажем на опыты Спирьстроа и Нивастроа (см. работы Н. Ф. Х о ц и а л о в а по Свирьстроу и работу С. Я. В ы г о д с к о г о по Нивастроу, Строительная Промышленность, № 3. 1933).

²⁾ Winter Work Emphasized at Concrete Meeting (Eng. News-Rec., vol. 112, № 9, 1934).

³⁾ F. R. M a e-M i l l a n, A Guide to Winter Concreting (Eng. News-Rec., vol. 112, № 5, 1934).

опалубке высказывались и за двойную опалубку с воздушной прослойкой, и за одиночную.

По данным Jong'a и Selmarr'a одиночная опалубка толщиной в 22 мм предохраняет в течение 2 часов бетон, уложенный с температурой + 70° Ф (21° С), при температуре воздуха — 10° Ф (— 23,3° С) и в течение 6 часов — при температуре 26° Ф (—3° С). Мак-Миллан исследовал влияние температур наружного воздуха, близких к 0°С (32° Ф) и до 50° Ф (+ 10° С) и пришел к заключению, что при таких условиях бетон должен находиться в температуре 70° Ф (21° С) не менее 3 дней при нормальном цементе и 1 дня при быстротвердеющем. Эти температуры наружного воздуха (близкие к нулю) имеют особый интерес для наших сошных строителей, знаменуя собой осенние периоды с внезапными вечерними, ночными и утренними похолоданиями, когда вследствие недостаточной еще мобилизации внимания по этому вопросу возможны вредные воздействия на бетон, могущие обусловить его разрушение.

К всевозможным химическим добавкам для ускорения схватывания и твердения необходимо относиться с большой осторожностью, с тщательной проверкой их действия на прочность бетона.

В отношении защиты бетона от высыхания, которое является одной из причин усадочных явлений в бетоне, а также может оказать влияние на прочность его, служит ряд мероприятий по защите бетона от действия солнечных лучей. Таковы: поливка, дождевание, покрытия мокрым песком, влажными тканями (нередко смоченными 4% раствором гигроскопических сшей) и игр. Marcotte ⁴⁾ сообщает об оригинальном методе защиты бетона от солнца (от высыхания) путем закрытия его ватными теплыми покрывалами (сравнить метод защиты от солнца, применяемый жителями Средней Азии — С. В.), давшим лучшие результаты. В области попыток установить некоторую количественную оценку того или иного способа ухода за бетоном Clack и Searcy²⁾ применили измерение омического сопротивления, различного, по-видимому, для бетонов различной степени влажности. Р. Е. Дэвис (Калифорнийский университет), отмечая преимущества пуццолановых портланд-цементов в отношении меньшей экзотермии, меньших объемных изменений, большей удобообрабатываемости, экономичности и пр., подчеркивает необходимость для бетонов на этих цементах длительного влажного ухода.

В качестве своеобразного производственного решения вопроса предохранения бетона от высыхания (особенно в часы схватывания) при бетонировке в жарком климате может служить организация работ при бетонировании недавно построенной плотины Луэд-Фодда в Алжире (французская колония).

Бетонировка блока начиналась во 2 половину дня и продолжалась ночью примерно до 2 часов, когда блок заканчивался; после этого наступал перерыв до восхода солнца. Таким образом наиболее прохладная и влажная часть суток приходилась на период схватывания. К утру, когда бетон уже начинал твердеть, его покрывали матами, которые беспрерывно смачивались, особенно в жаркое время дня. Ука-

¹⁾ E. Marcotte, Valeur comparée des recouvrements, employés pour le béton (Genie Civil, t. CIV, № 4, 1934).

²⁾ S l a c k, S e a r c y B., Ohms of Resistance measure Concrete Curing (Eng. News-Rec., vol. III, № 6, 1933).

Сводные данные по бетонным плотинам США

№ п/п	Наименование плотин	Общая кубатура бетона в м ³	Характеристика бетона					
			Объемный вес в т/м ³	Состав бетона		Содержание цемента в кг/м ³	Осадка конуса в см	$\frac{W}{C}$
				по весу	по объему			
1	Баульдер	1 800 000	2,5	1:2,45:7,05	—	225	7,5	0,54 по весу
2	Пайн-Кэнион	300 000	2,5	1:2,66:7,37	—	216	2,5	0,59
3	Дайабло	268 000	—	1:2,45:5,15	—	284	6,25—7,50	По весу 0,50—0,70 (с учетом влажности песка)
4	Буль-Ран	168 000	2,47—2,5	—	1:7,5	215	7,5—10	0,70 (по весу)
5	Вотервиль	92 000	—	1:2,96:4,19	—	268	—	—
6	Кэльдервуд	—	—	—	1:2,3:4,6	250	3,75—4,0	—
7	Шют оф Керон	—	—	—	1:3:4,5	250	3,75—4,0	—
8	Норрис	764 500	—	—	—	—	—	—

Примечание. Получаемые при переводе дюймов в сантиметры размеры фракций:

6—19 мм
19—38 „
38—76 „

Таблица 9

Временное сопротивление на сжатие на 28-й день кг/см ²	Характеристика инертных: число и характер фракций, соотношение их и процент песка от общего веса инертных	Способ производства работ и укладки бетона
217	1. Песок < 6 мм — 2,45 ч. по весу 2. Мелкий гравий — 6—19 мм — 1,75 ч. по весу 3. Средний гравий — 19—38 мм — 1,46 ч. по весу 4. Крупный гравий — 38—76 мм — 1,66 ч. по весу 5. Булыжник 76—228 мм — 2,18 ч. по весу Песок составляет 25,8% от полного веса инертных или 33,4% — от веса инертных без булыжников	Кабельные краны с бадьями емкостью в 8 м ³ . Укладка без вибрации. Первibratorами пользуются лишь для разравнивания куч, доставляемых ковшом, и для проработки бетонной массы в углах и у опалубки
140	1. Песок < 6 мм — 2,66 ч. по весу 2. Гравий 6—22 мм — 2,10 ч. по весу 3. Гравий 22—38 мм — 1,00 ч. по весу 4. Гравий 38—76 мм — 1,73 ч. по весу 5. Булыжник 76—152 мм — 2,54 ч. по весу Песок составляет 26,6% от полного веса инертных или 35,6% — без булыжника	Кабельные краны с ковшами (бадьями) по 3 м ³ . После опорожнения ковша применялись первibratorы для разравнивания, а затем vibratorы платформенного типа
210 (проектное)	1. Песок до 6 мм — 2,45 по весу 2. Средняя составляющая 6—50 мм — 3,07 ч. по весу 3. Крупная составляющая 50—100 мм — 2,08 ч. по весу Песок составляет 32,2% от общего веса инертных	Подъемные башни и ленточные транспортеры. Проработка бетонной массы ногами и шуровка лопатами
147	1. Песок — 0—10 мм 2. Щебень — 10—25 " 3. " — 25—75 " 4. " — 75—125 " 5. Булыжник — 125—175 "	Подъемные башни и спускные желоба, подвешенные к кабельному крану. Тщательная шуровка лопатами
—	1. Песок до 10 мм — 2,96 ч. по весу 2. Средняя составляющая 10—25 мм — 1,44 ч. по весу 3. Крупная составляющая 25—76 мм — 2,75 ч. по весу	Подвозка бетона к плотине в ковшах по 2 м ³ ; подъем и укладка поворотными кранами
280	1. Песок — искусственный 2. Щебень 7,5—15 см Средняя фракция отсутствовала	Вантовые деррики с бадьями по 3 м ³ . Применение первibratorии
—	1. Песок 0,15—2,5 мм (искусственный) 2. Песок 2,5—6 мм 3. Щебень 6—19 " 4. " 19—38 " 5. " 38—76 " 6. Булыжник 76—152 мм	Кабельные краны с ковшами по 4,6 м ³ . Совместное применение vibratorов и первibratorов

могут быть с округлением обозначены:

- 6—20 мм
- 20—40 "
- 40—80 "

занное решение вопроса заслуживает внимания и несомненно может быть применено у нас в Союзе в местностях с континентальным климатом.

§ 7. Сводная таблица и выводы

В заключение настоящей главы будет уместно привести сводную характеристику бетонов всех описанных плотин и сделать краткие выводы.

На основании тайл. 9, представляющей сводку данных по 7 плотинам США, можно прийти к следующим выводам:

1. Необходимо отметить высокие значения ($2,47—2,5 \text{ т/м}^3$) объемного веса бетона указанных плотин, итого основного свойства гидротехнических бетонов, обуславливающего их долговечность (плотность) и одновременно их экономичность (см. ниже), так как высоким значениям объемного веса соответствует низкая величина процентного содержания песка (см. табл. 9).

2. Низкое процентное содержание песка в общей смеси инертных ($27—32\%$) обуславливает в ряде случаев и сравнительно незначительное содержание цемента ($215—225 \text{ кг/м}^3$ бетона). Эти факторы сопутствуют большим значениям предельной крупности камневидной составляющей ($100—152—175—228 \text{ мм}$). Всеми этими мероприятиями достигается возможная экономичность бетона — свойство весьма важное при столь значительных кубатурах сооружений.

3. В отношении консистенции следует подчеркнуть безусловное преобладание пластичных бетонов, каковые в некоторых случаях укладываются значительными порциями (плотина Баульдер — емкость ковша свыше 6 м^3) без вибрации, как основного способа укладки; нередко случаи применения мало-пластичных консистенций (осадка — $2—3 \text{ см}$) с широким применением вибрирования бетонной массы. При этом современная практика США выработала систему совместного использования и первибрации (в начале процесса, после опорожнения ковша) и вибрации (вибраторами платформенного типа).

Кроме того, и в случаях укладки бетона без вибрации тем не менее пользуются вибраторами для проработки бетона в малодоступных местах (в углах, у опалубки и пр.), а также со специальной, целью разравнивания значительных куч бетона, транспортируемого ковшами значительной емкости; в этих случаях предпочтительно применяются первибраторы.

4. Необходимо отметить весьма, низкие значения водоцементного

отношения $\frac{W}{C} = 0,54—0,59$ по весу (Классическая американская формула — $5,25$ галлонов воды на 1 мешок цемента¹⁾ — дает, без учета

влажности песка, — $\frac{W}{C} = 0,48$).

5. В отношении гранулометрического состава необходимо подчеркнуть: 1) исключительное применение фракционированных инертных с числом фракций от 3 до 6 (плотина Норрис); 2) применение пылевидной составляющей для придания плотности бетону; 3) фракционирование песка по нескольким¹⁾ сортам.

¹⁾ 1 американский галлон равен $3,78 \text{ кг}$; 1 мешок цемента равен $42,75 \text{ кг}$.

Из современных плотин США, еще находящихся в постройке, это применяется: 1) на плотине Норрис, (где пользуются искусственным песком 2 фракций — 0,15—2,5 мм и 2,5—6 мм — и 2) на плотине Гранд-Кули (на р. Колумбии), начатой постройкой в конце 1934 г. Это грандиозное сооружение массивного гравитационного типа будет иметь максимальную высоту 162 м и длину по гребню 1230 м при кубатуре бетона свыше 7 000 000 м³. Инертные материалы для этой плотины заготавливаются в 2,4 км от строительной площадки и там подвергаются сортировке и промывке. Крупные инертные сортируются по 3 размерам; песок также смешивается из 3 фракций.

Глава 11

БЕТОННЫЕ ПЛОТИНЫ И МАССИВЫ ЗАП. ЕВРОПЫ

§ 1. Италия

Помещая ниже подробное описание и характеристику некоторых новейших итальянских плотин, приводим вначале общие данные по использованию водных сил в Италии¹⁾. Из 188 плотин, находящихся в эксплуатации Италии, имелось на 1932 г.: ¹⁾

разборчатых плотин	23
гравитационных из каменной кладки	62
" " бетона.....	37
арочных из бетона.....	22
из сухой каменной кладки	17
земляных.....	17
типа Амбурсена из железобетона.....	3
многоарочных из железобетона.....	7

Италия, таким образом, имела возможность собирать опыт на постройках плотин из различных строительных типов и методов. Особенного интереса заслуживает вопрос сравнения тонких арочных плотин с гравитационными. Как показывают наблюдения, тонкие арочные и железобетонные плотины полностью себя оправдали. Предметом споров являются вопросы водонепроницаемости и сопротивляемости атмосферным влияниям, находящиеся между собой в тесной связи, так как разрушения от мороза в первую очередь являются следствием проникновения воды сквозь бетон. Итальянские данные по этому вопросу отмечают зачастую значительно большую фильтрацию в массивных плотинах по сравнению с тонкими и объясняют это явление значительно большей тщательностью, которая, как правило, наблюдается при постройке тонких плотин, по сравнению с плотинами гравитационными. Тогда как для тонких плотин фильтрация сплошь и рядом не превышает 3 л/сек, в целом ряде гравитационных плотин она достигает 100 л/сек. Можно привести следующие данные, характеризующие явления фильтрации сквозь бетонные плотины Италии: 1) плотина *Чиньяна* — высота 59 м, фильтрация 3,5 л/сек; 2) плотина *Кажано-ди-Фразли* — высота 54 м, длина 250 м, фильтрация 0,75 л/сек; 3) плотина *Мальчауссия* — высота 32 м, длина 140 м, фильтрация 0,20 л/сек; 4) плотина *Миньяно*

¹⁾ F. T ö l k o , Einigo Erfahrungen bei der Nutzbarmachung der Italienischen Wasserkräfte (Der Bauingenieur, № 39/40, 1932).

(Валь Д'Арда) — высота 51 м, фильтрация 0,25 л/сек — и т. д. Необходимо отметить, что водонепроницаемость означенных бетонных плотин (см. ниже) достигалась, кроме тщательной дозировки и выполнения, еще и применением специальной штукатурки, торкрета, цементации и пр.

Особенно непроницаемой показала себя арочная плотина Чеппо-Морелли (сдана в эксплуатацию в 1931 г.). Она принадлежит (рис. 42) к числу самых тонких современных плотин (средняя толщина верхней части арки 1,2 м, при общей высоте плотины в 45 м). Потеря на фильтрацию в этой плотине равнялась 1 л/сек.

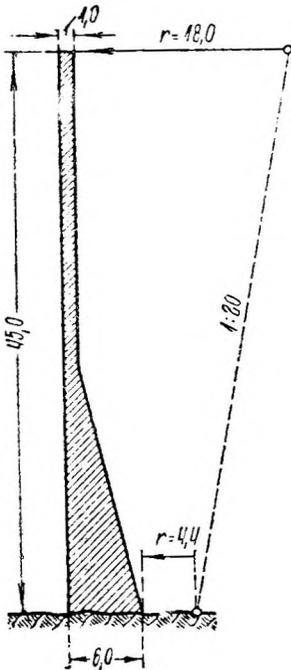


Рис. 42. Плотина Чеппо-Морелли — поперечный разрез.

В отношении расстояния между температурными швами — опыты с бетонными гравитационными плотинами показывают, что предельным расстоянием между швами следует считать в среднем примерно 15 м. На плотинах Чиньяно и Сувиана высотой соответственно по 59 и 90 м, с расстоянием между швами в 20—30 м образовались трещины (исправленные цементацией). Употребительная конструкция швов, характерная для итальянских плотин (плотина Чиньяна), указана ниже на рис. 43 и состоит из верхнего слоя железобетона (железобетонной «пробки») или армированного цементного раствора, прокладки эластичной изоляции, медной полосы, помещенной поперек шва открытой шахты (смотровой), и прокладки, далее, просмоленного картона.

Весьма важным вопросом является водонепроницаемость сооружений. Для Италии обычным приемом для обеспечения этого условия (см. ниже) является повышенная дозировка цемента в наиболее ответственных частях сечения плотины. Такова, в частности, защита внешних (наружных) поверхностей, а также укрепление нижних частей сечения плотины, соприкасающихся с основанием. В этих местах укладывается более высоко-сортный бетон, а с наружной стороны — еще и торкрет. У нас нет данных многолетних наблюдений за устойчивостью торкрета; в отношении же различных дозировок цемента в разных частях тела плотины отметим, что этот прием имеет большое распространение в европейских странах (Италия, Франция и др.). При оценке этого способа, помимо производственных трудностей, следует исходить из влияния на усадку: 1) различной жирности бетонов и 2) взаимодействия различных бетонов.

По первому вопросу не существует в настоящее время единообразной установки о влиянии на усадку количества цемента в бетоне. Многие авторы, в том числе такие авторитеты, как проф. О. Граф¹⁾ полагают, что увеличение содержания цемента в конечном итоге не увели-

¹⁾ О. Graf, Über einige Aufgaben der Eisenbetonforschung aus älterer u. neuerer Zeit (Beton u. Eisen, H. 11, 1934).

чивает усадочных явлений в бетоне, так как указанное увеличение цемента значительнее всего сказывается в повышении сопротивляемости бетона растягивающим усилиям, каковые и обуславливают явления деформации. В отношении второго вопроса является возможным высказать предположение, что при различных составах бетона в различных частях тела плотины могут иметь место и различные усадочные явления. Если бы означенные предположения подтвердились, следовало бы поставить вопрос об Отказе от употребления в бетонных плотины кладки с различными сортами бетонов, а стремиться к водонепроницаемости сооружения путем тщательного подбора, приготовления и укладки единообразной бетонной смеси и одновременных мероприятий по борьбе с появлением трещин и но ликвидации образовавшихся трещин. Таким мероприятием является борьба с усадкой путем: применения специальных цементов, охлаждения бетона, правильного расположения и устройства температурных швов, правильного ухода за бетоном, цементации в случае надобности, в некоторых случаях устройства изоляции со стороны верхнего бьефа и т. д.

Ниже приводятся описания некоторых итальянских плотин, построенных в последнее время. Из бетонных плотин представляют интерес:

1. *Плотина Чиньяна*¹⁾ (в бассейне р. Дора-Балтеа) образует водохранилище емкостью в 16 млн. м³. Эта плотина является примером сравнительно более ранней постройки (она закончена в 1928 г.). Тип плотины — гравитационный с слабо арочным очертанием (радиус дуги в плане 950 м). Высота плотины над руслом реки — 58 м; длина по

требную свыше 400 м. Плотина сооружена из литого бетона с общей кубатурой в 153 000 м³. Среднее содержание цемента на 1 м³ бетона равно 230 кг, однако, для различных частей плотины количество это принималось разным (рис. 44) в зависимости от действующей нагрузки, требований водонепроницаемости и т. д. В бетон при его укладке помещали отдельные крупные камни (так называемый «изюм») в количестве всего 4% от общей кубатуры бетона. Указанные камни служили, главным образом, для образования штраб при перерыве бетонирования. Эффект от укладки «изюма» оказался ниже ожидаемого, главным образом, вследствие затруднительности и дороговизны собирания (заготовки) и доставки «изюма» к месту работ. Бетон транспортировался по специально выстроенной эстакаде на металлических опорах и оттуда с помощью воронок и желобов попадал на место укладки. Высота падения бетона от 2 до 4 м; оптимальной величиной в этом отношении, но мнению автора, является 3 м, что, однако, кажется нам не совсем убедительным и преувеличенным. Длина распределительной эстакады (рис. 45) — 400 м. Автор указывает, что такая длина пути

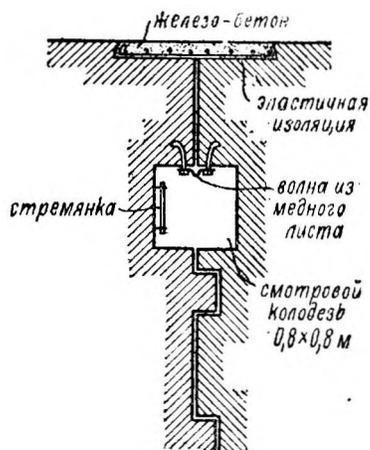


Рис. 43. Конструкция температурного шва на плотине Чиньяна.

¹⁾ F. Contessini, La Costruzione della diga di Cignana, (L'Energia Elettrica, № 1. 1929 и № 2, 1931).

оказалась слишком велика для применявшегося способа развозки бетона вагонетками: к концу пути бетон от толчков начинал уплотняться, на его поверхности выступала вода и пр. Можно с уверенностью оказать, что в этом случае был более пригоден способ транспортировки бетона помощью кабельного крана. Разбивка на блоки бетонизируемого массива производилась по следующему плану. В нижней массивной части плотины бетон укладывался в отдельные, ограниченные продольной и поперечной опалубкой блоки, объем которых соответствовал суточной кубатуре укладки. Далее, по мере уменьшения поперечных размеров плотины, удавалось осуществить укладку в сутки одного сплошного блока между двумя главными радиальными швами и, наконец, в тонких верхних частях профиля плотины удалось укладывать по несколько блоков в день. В качестве противифльтрационных

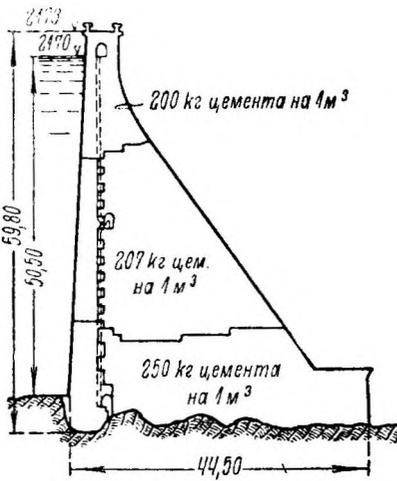


Рис. 44. Плотина Чиньяна — поперечный разрез.

затем обильно полито цементным раствором. Заслуживает внимания на этой постройке (законченной в мае: месяце 1934 г.) работа по приданию плотине водонепроницаемости. Этого удалось достигнуть, помимом хорошего качества и тщательной укладки бетона, еще и следующими мероприятиями: а) торкретированием верхней грани; б) смазкой этой же грани поверх торкрета — асфальтедиллом (патентованное средство) и в) тщательной цементацией тела плотины³⁾. Потери на фильтрацию при полном подпоре не превосходят в общем 0,2 л/сек. Материалом для получения инертных служил наносный материал, добываемый в русле реки выше места расположения плотины. Заготовка его велась двумя экскаваторами: одним — типа «Orenstein-Korrel», передвигающимся по рельсам, другим — тина «Nortwest» — на гусеничном ходу. Отметим, что с помощью первого производились работы в местах, где материал мог считаться однородным, а с помощью второго, отличавшегося значительной подвижностью, осуществлялась

мер со стороны верхней грани, кроме более жирного облицованного слоя, применялись еще торкрет и обмазка сидеритом.

2.

(провинция Пьяченца) образует водохранилище в 14 млн. м³ для целей ирригации и энергетики. Высота ее 51 м, толщина поверху — 6 м (рис. 46). Указанная плотина гравитационного типа в форме арки расположена на скалистом основании, каковое было соответствующим образом подготовлено и обработано перед началом укладки бетона: основанию была придана форма ступеней и уступов с глубокой насечкой горизонтальных площадок для придания им наибольшей шероховатости. Перед самым началом бетонировки дно котлована было очищено сильной струей воды и воздуха и

Пл.

¹⁾ Le più recenti dighe di ritenuta costruite in Italia (L'Energia Elettr., vol. XI, f. X, 1934).

²⁾ D. Negrotti, La diga di Val d'Arda (L'Energia Elettr., f. XI, 1934).

³⁾ D. Negrotti, La diga di Val d'Arda (L'Energia Elettr., f. XI, 1934).

как бы выборочная заготовка материала. Материал подвергался дроблению и грохочению. Состав применяемого бетона на 1 м^3 : цемента —

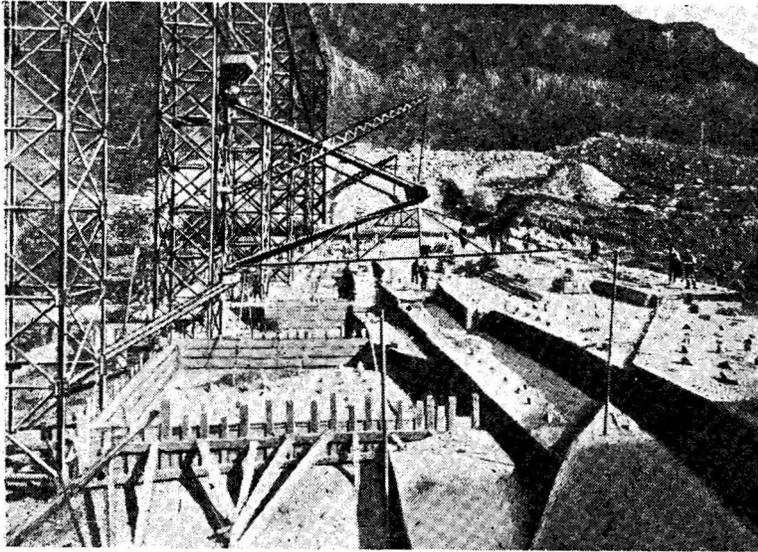


Рис. 45. Эстакада для подачи бетона на плотине Чиньяна.

300 кг, щебня (до 45—50 мм) — $0,65 \text{ м}^3$, песка — $0,55 \text{ м}^3$ и от 140 до 190 л воды. Гранулометрический состав бетона плотины Миньяно дает кривую просеивания, близкую к кривой Фуллера.

3. *Плотина Суетна* (провинция Болонья на р. Лиментра ди-Трепио образует водохранилище в 36 млн. м^3 . Плотина гравитационная в форме арки высотой в 89.50 м и длиной в 225 м. Температурные швы расположены через 18 — 20 м. Состав бетона на 1 м^3 : цемента 225 — 300 кг, крупного щебня (30—80 мм) — 40.6% по весу, щебня мелкого (8 — 30 мм) — 30% по весу песка, крупного (2—8 мм) — 24% по весу, песка мелкого (до 2 мм) — 20% по весу и воды 200 — 210 л/м^3 . Временное сопротивление бетона, сжатию на 28-й день 140—80 кг/см^2 соответственно содержанию цемента 300 — 225 кг. При расчете плотины величина наибольшего сжатия получалась равной 19 кг/см^2 (без растягивающих усилий).

О верховой стороны плотина торкретирована.

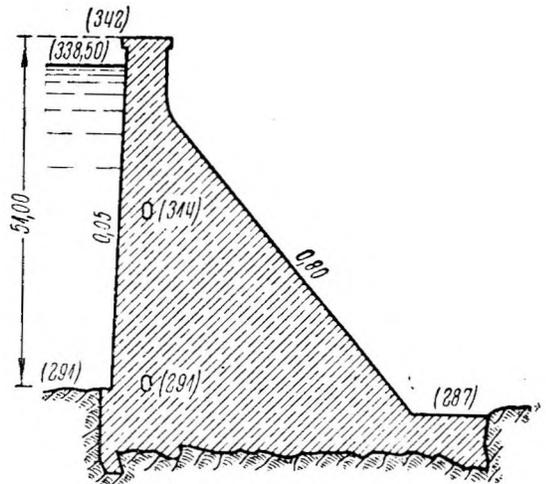


Рис. 46. Плотина Миньяно — поперечный разрез.

4. *Плотины Карденелло и Стуэтта* (провинция Сандрио) — две смежные плотины на р. Лиро. Плотина Карденелло высотой в 75,50 м, гравитационная в форме арки, длиной в 240 м, имеет расстояние между температурными швами — 22 м.

Плотина Стуэтта в конструктивном отношении подобна предыдущей; имеет высоту 31,50 м и длину 200 м. Для достижения водонепроницаемости применялась цементация бетона и штукатурка верховой грани, производившаяся в следующем порядке: а) срубка 5 см слоя бетона, б) штукатурка жирным цементным раствором и в) торкрет

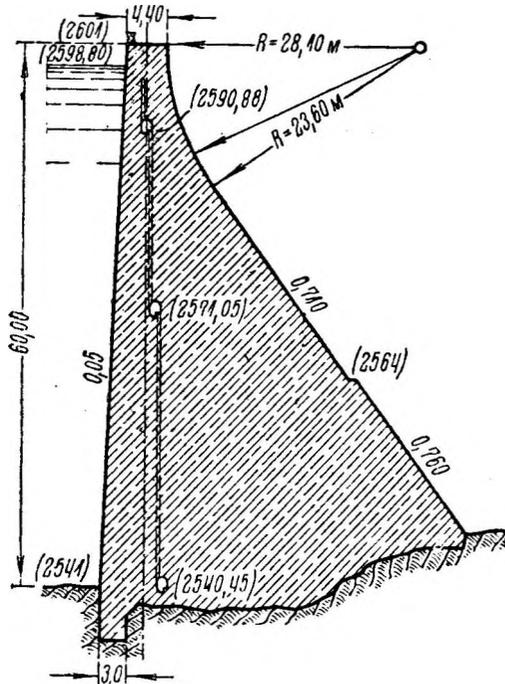


Рис. 47. Плотина Карезер — поперечный разрез.

слоем в 8 мм. Количество цемента на 1 м³ бетона — 350 кг в основании плотины и со стороны верхнего бьефа и 250 кг в теле плотины.

5. *Плотина Карезер* (провинция Тренто) образует водохранилище в 15 млн. м³ питаемое ледником Карезер на отм. 2540 м. Плотина гравитационная и состоит из 2 частей: одной (рис. 47) — длиной в 205,4 м с максимальной высотой 60 м и другой — длиной 235 м и высотой в 31 м. Количество цемента на 1 м³ бетона — 300 кг в основании и 200 кг — в верхней части. Расстояние между температурными швами — 18 м.

6. *Плотина С. Катерина*: (провинция Беллуно) образует водохранилище в 6,6 млн. м³. Плотина высотой в 53 м, гравитационная, в форме арки, длиной в 185 м. Общая кубатура бетона 85 340 м³. Бетон с со-

держанием цемента на 1 м³ — 400 кг у основания и 225 кг вверху. Временное сопротивление на 28-й день 89 и 118 кг/см² при объемном весе бетона от 2,48 до 2,53. Температурные швы в количестве 8 шт. сквозные на всю высоту плотины расположены через 20 м друг от друга. Потеря на фильтрацию, сначала значительная, была сведена, после производства цементации до 2 л/сек.

7. *Плотина Лаги-Джемелли* (провинция Бергамо) высотой в 36,0 м в форме арки, длиной 210 м. Состав бетона:

а) в части от основания (отм. 1920) до отм. 1936: цемента — 250 кг, щебня (30—65 мм) — 0,4 м³; щебня (до 30 мм) — 0,4 м³; песка, (до 10 мм) — 0,48 м³, каменной пыли — 250 кг;

б) в самом основании: воды — 220 л, цемента — 300 кг, каменной пыли — 130 кг;

в) на отметках выше отм. 1936: цемента — 225—200 кг, крупного щебня — 0,37 м³, мелкого щебня — 0,37 м³; песка — 0,45 м³ и каменной

ныли—170 кг. Напряжения в бетоне на сжатие получались порядка 8 кг/см² при пустом водохранилище и 8,5 кг/см² — при наполненном водой (при отсутствии растяжения).

Переходя к плотинам армированным и железобетонным, необходимо упомянуть плотины Мальчауссия и Комелико.

1. *Плотина, Мальчауссия*¹⁾ (провинция Турин) на р. Рио-Соля, построенная в 1933 г., представляет собой арочную плотину, преграждающую долину Стура-ди-Виу и образующую небольшое сравнительно водохранилище (сезонное регулирование) емкостью в 1 500 000 м³.

Радиус арки от 25,42 до 38,40 м; максимальная высота плотины 32 м; общая длина по гребню около 140 м. Поперечные размеры плотины: 2 м вверху и 7,7 м у основания (рис. 48). Бетонировка плотины была начата в 1932 г.; при этом в ней были оставлены 2 шва, которые были заделаны в 1933 г. после окончания усадки и понижения температуры бетона примерно до температуры окружающего воздуха. Максимальные расчетные напряжения в арке получались равными: 33 кг/см² на сжатие и 7 кг/см² на растяжение.

Исходя из этого, было решено ввести в тело арки железную арматуру для предотвращения образования трещин. Без этого мероприятия было бы затруднительно получить требуемую прочность (предписанное временное сопротивление 165 кг/см² на 28-й день). Причина этого заключается в сравнительно малой прочности применявшихся для приготовления бетона местных инертных материалов, происходящих из амфиболитовых пород, известковых сланцев с примесью слюды и др.

Для получения необходимой прочности было решено также применять достаточно сухие бетонные смеси с низким значением водоцементного отношения. Принятый состав бетона на 1 м³: песка (0—15 мм) — 0,45 м³, гравия (15—60 мм) — 0,75 м³, цемента 350 кг в нижней части плотины и 300 кг — в остальных частях и, наконец, воды — 180 л/м³. Прочность бетона на сжатие испытывалась на заготовленных образцах с средними результатами до 200 кг/см² на 28-й день и до 220 кг/см² на 90-й день. Кроме того, испытания прочности производились также на 15 см кубиках, вырезанных из готового бетонного блока и показавших временное сопротивление: на 50-й день — 175 кг/см² и на 84-й день — 306 кг/см². Водонепроницаемость бетона испытывалась на кубиках высотой в 20 и 7,8 см.

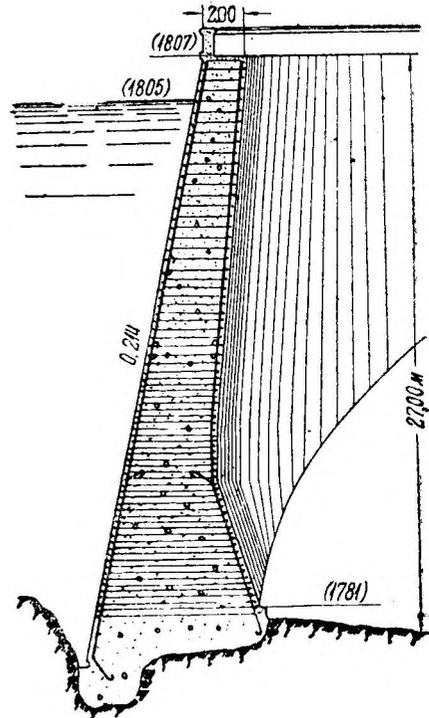


Рис. 48. Плотина Мальчауссия — поперечный разрез.

¹⁾ M. Calciati, Il rigonfiamento del calcestruzzo mis. in una diga di recente costruzione (L'Energia Elettr., № 4, 1935).

Первые под давлением в 10 ат по истечении 3 дней с момента нагрузки дали фильтрацию в 239 и 42 *л/час*; вторые по истечении 7 дней под давлением в 6 ат — 37 *л/час*. В описании постройки плотины Мальчауссия, сделанном инж. Кольчати, упоминается о невозможности из-за сухости бетона и наличия арматуры достигнуть достаточной и однородной плотности бетона, несмотря на применение перемешивателей. Указанное положение кажется нам не совсем убедительным, так как данные американской практики показывают примеры достаточно хорошей обработки сравнительно малопластинных бетонных смесей. По-видимому, причину следует искать в недостаточном имевшемся оборудовании для укладки бетона, вследствие сравнительно незначительного объема бетонных работ в общей программе работ на данной постройке. К этому заключению нас приводит также указание на отсутствие как построит усовершенствованного оборудования для дозировки материалов при приготовлении бетона. По окончании укладки бетона в тело плотины была произведена цементация как бетона плотины, так и оставленных температурных швов. Эти мероприятия компенсировали все недочеты укладки бетона и в результате свели величину фильтрации сквозь тело плотины (при общей смоченной поверхности в 2000 м²) к величине 0,2 *л/сек*, продолжающей уменьшаться вследствие самоуплотнения бетона,

2. *Плотина Комелжо* (провинция Беллуно) входит в состав установки Пиаве-Ансей, образуя водохранилище емкостью в 700 000 м³. Эта плотина представляет пример железобетонной плотины; ее высота 43,50 м и при ширине 1,20 м сверху и 8,65 м у основания; уклон верховой грани 0,45, а низовой — «сверху — 0,28 и снизу + 0,24 (см. рис, 48, очертания плотины Мальчауссия). Применявшийся состав бетона: цемента. — 300 кг и воды — 150 л. Общий объем бетона плотины Комелико — 30 400 м³.

Данные о свойствах бетонов, примененных при бетонировке итальянских плотин, на основании многочисленных опытов и испытаний, проведенных, главным образом, на местах работ, приводит Бруно Бонфиоли¹⁾. Касаясь основного свойства указанных бетонов — водонепроницаемости и факторов, на нее влияющих, — Бонфиоли указывает, что это свойство бетона находит себе выражение в его объемном весе. При этом необходимо отметить отсутствие до сего времени общей закономерной связи между водонепроницаемостью и объемным весом, характеризующим степень пористости бетона: существуют те или иные зависимости, имеющие, однако, местный характер и зависящие от характера и свойств местных материалов. Такова, например, шкала, предложенная Болломеом для швейцарских плотин, могущая служить для суждения о доброкачественности этих бетонов:

объемный вес	2,40	бетон	очень хороший
” ”	2,34—2,40	”	хороший
” ”	2,28—2,34	”	средний
” ”	2,20—2,28	”	посредственный
” ”	2,20	”	плохой

В отношении содержания цемента в бетоне указывается, что до известного предела водонепроницаемость увеличивается с увеличением содержания цемента; выше же этого предела прибавление цемента не оказывает влияния на водонепроницаемость.

¹⁾ Br. Bonfioli, Nozioni attuali sulle proprietà dei calcestruzzi (L' Energia Elettr., № 7, 10, 1935).

Непосредственно на стройках итальянских плотин имели место весьма продолжительные непрерывные испытания водонепроницаемости, длившиеся 200 часов, 500 часов и даже до 3 месяцев. Цель подобных опытов — выявить влияние на водонепроницаемость самоуплотнения бетонов, имеющего своими причинами: 1) механические факторы — кольматация бетонных лор взвешенными в воде частицами, 2) химические — отложение в порах бетона углекислой извести, получающейся при действии углекислоты на гидрат окиси кальция и, наконец, 3) явление разбухания бетонов, находящихся в воде (явление, обратное усадке бетона). Водонепроницаемость кубиков, взятых из сооружения, всегда выше таковой, определенной на заготовленных образцах; это наблюдение было сделано на кубиках, вырезанных из плотин *Карезер* и *Таджиа*.

На примере плотины *Чиньяна* установлено, что водонепроницаемость литого бетона с содержанием цемента в 200 кг/м^3 при правильном гранулометрическом составе инертных материалов получается достаточно высокой. Определение сопротивления бетона на изгиб практикуется на итальянских плотинах не на балках, нагруженных посредине, а на балках размера: $150 \times 240 \times 760 \text{ мм}$ или $100 \times 240 \times 600$ ля, заделанных одним концом. В качестве нагрузки служит медленно приливаемая вода. В отношении зимнего бетонирования необходимо отметить, что таковое имело место на постройке плотин *Молларо* и *Карезер* и при температурах до 5° производилось лишь с подогревом воды, а ниже — и с подогревом инертных материалов и с прогревом опалубки.

§ 2. Франция

Строительство новейших бетонных плотин во Франции развивается в направлении конструирования высоких плотин (см. ниже) как арочных, так и гравитационных. В отношении их краткой характеристики можно указать следующее:

- 1) предпочтительное применение пластичных бетонов;
- 2) большое внимание факторам, влияющим на плотность бетона;
- 3) предпочтительное применение в качестве способов укладки бетона — кабельной крана и. в некоторых случаях, — ленточных транспортеров;
- 4) применение вибрации и первивибрации для уплотнения и однородной проработки бетонной массы.

В качестве примеров новейших французских плотин приведем: описание плотин:

- 1) Мареж на р. Дордонь — арочная плотина,
- 2) Сото на р. Драк — гравитационная в форме арки,
- 3) Сарранс на р. Ля-Трюер — гравитационная в форме арки.

1. *Плотина гидроустановки Мареж*¹⁾ (на р. Дордонь), являющейся самой значительной установкой на этой реке (мощностью 128 000 квт)

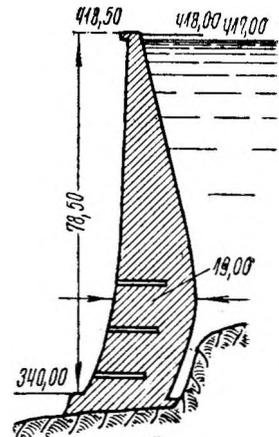


Рис. 49. Плотина Мареж — поперечный разрез.

¹⁾ Amenagement hydro-électrique de la Dordogne à Mareges (Travaux, № 25, 1935)

представляет собой арочную плотину, служащую для образования водохранилища полезной емкостью в 35 млн. м³; средний расход р. Дордонь — 65 м³/сек. Выбору типа арочной плотины способствовали благоприятные местные условия, очертания профиля речной долины, хорошее гранитное основание и пр. Размеры строящейся арочной плотины

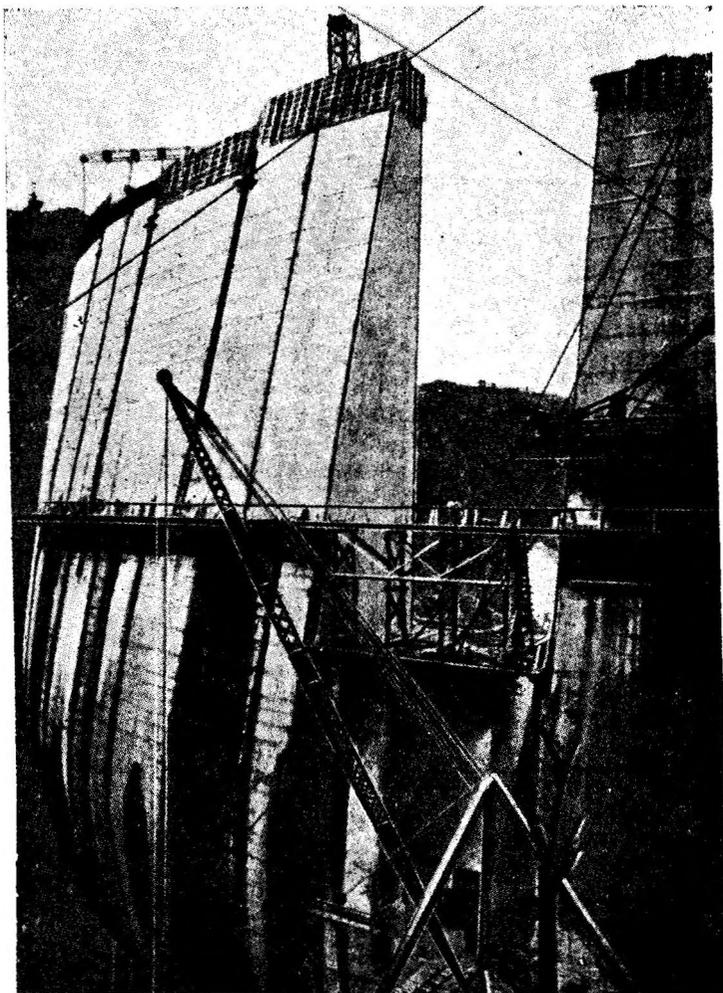


Рис. 50. Плотина Марож — вид на постройку с верховой стороны.

тины (рис. 49): наибольшая высота до 100,5 м, ширина гребня — 3 м, в основании — 19 м, длина арки — 198 м, полная длина (включая и водосливную часть) — 247 м; радиусы арки: внешний 100 м и внутренний — 80 м. Общая кубатура бетона достигает 185 000 м³. Плотина разделена на блоки вертикальными швами шириной 1—1,5 м; длина каждого блока (между соседними швами) — 13 м. Три средние шва имеют в нижней своей части расширения и служат для пропуска паводков во время строительного периода. Закрытие швов (литым бе-

тоном) (рис. 50) происходит лишь после достаточного охлаждения бетона и сопровождается цементацией тела плотины, производящейся при помощи системы вертикальных и горизонтальных напорных труб. Для уплотнения швов и придания им водонепроницаемости служат диафрагмы в виде медных полос, заделываемых в оба соприкасающиеся блока. Работы по постройке плотины Мареж были начаты летом 1932 г., с предположенным сроком окончания в конце 1935 г. Для добывания инертных материалов был открыт специальный карьер выше плотины производительностью в 500—600 м³ в день (примерно 2/3 всей потребности); остальное недостающее количество камня поступало из материала выемки.

Для приготовления бетона служат 2 бетонных завода на левом и правом берегах реки. Цемент доставляется канатной дорогой с ближайшей ж.-д. станции (производительность 15 м/час). Установки для заготовки инертных материалов расположены на правом берегу (рис. 52) и состоят: 1) из большой первичной (основной) камнедробилки на 150 т/час; 2) 2 последующих камнедробилок; 3) 2 сортировочных барабанов; 4) вальцовой мельницы для изготовления искусственного песка до 3 мм и 5) шаровой мельницы для получения мелкого песка (пыли) 0—0,5 мм.

Инертные разделяются на 4 фракции: 0—3, 3—10, 10—30 и 30—120 мм; подбор необходимого гранулометрического состава смеси их произведен по кривой Боломея с возможными отступлениями ±5% (рис. 51). Отмеривание цемента и каменной пыли производится по весу, всех остальных инертных — по объему. Бетонный завод правого берега обслуживается 2 бетономешалками по 1500 л, а на левом берегу — 1 бетономешалкой на 1500 л и несколькими меньшими. Для укладки бетона в тело плотины служат 3 подъемных башни с поворотными ленточными транспортерами (рис. 52) с выгрузкой на протяжении 45 м. Башни имеют высоту 75 м и снабжены двойными подъемниками с подачей до 60 м³/час (рис. 53). Наибольшая достигнутая производительность бетонировки превосходит 1000 м³ в день. При укладке транспортерами максимальная допущенная высота сбрасывания бетона 1,5 м, что не внушает опасения расслаивания бетона. Указанные транспортеры давали возможность механически, непрерывно и равномерно распространять бетон по всей поверхности блока. Без перерыва, укладывались один за другим, таким образом, 5—6 слоев бетона толщиной по 30 см. Слои подвергались ручной проработке и вибрировались вибраторами платформенного типа, иногда снабженными зубьями. Опалубка применялась металлическая. Для укладки бетона в верхней части плотины предполагается применить кабельный кран мощностью в 4,5 т. Содержание цемента (портланд) в нижней части плотины и вблизи швов — 275 — 300 кг/м³ бетона; в остальных частях применяется властичный бетон с содержанием цемента до 250 кг/м³. Наибольшее

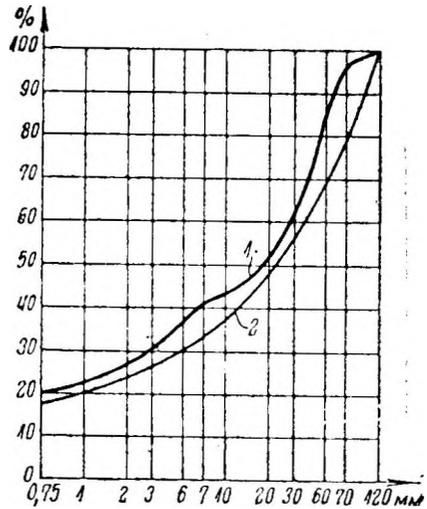


Рис. 51. Кривая просеивания инертных материалов на плотине Мареж. 1—примененная кривая, 2—кривая Боломея.

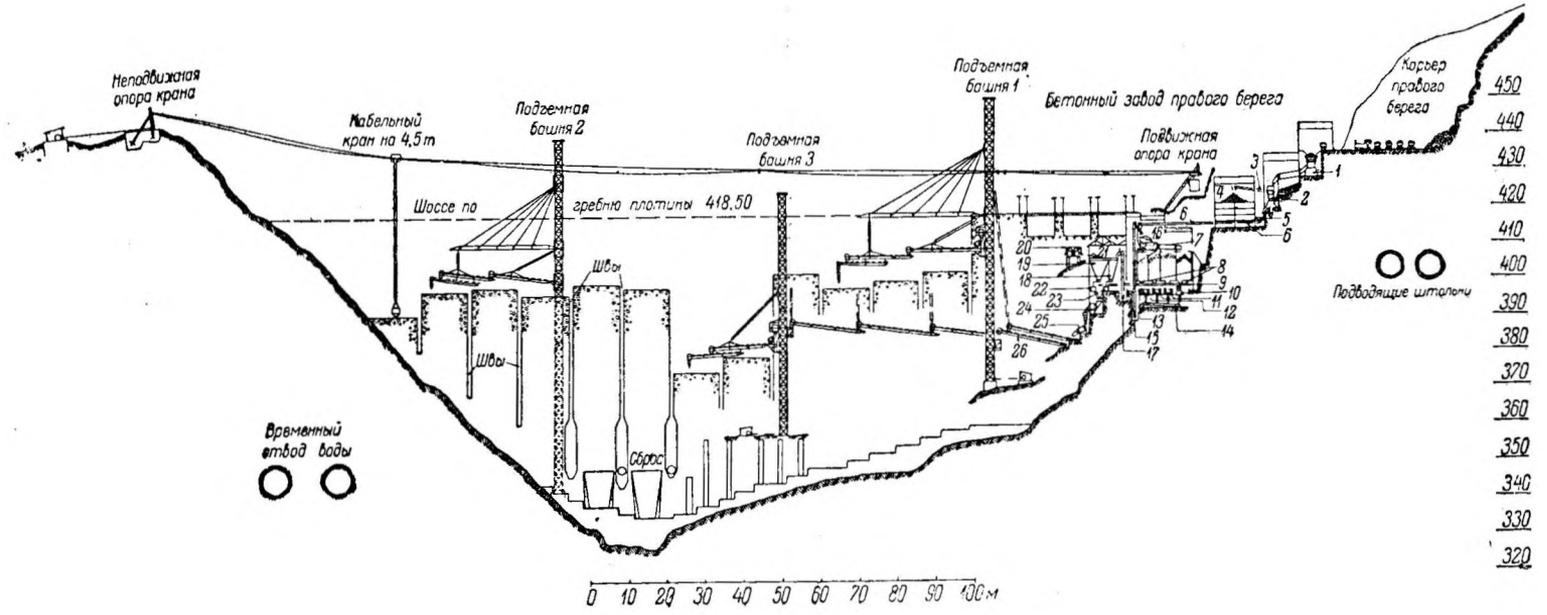


Рис. 52. Схема расположения вспомогательных устройств и организации работ.

- 1 — первичная камнедробилка, 2 — 2 вращающиеся камнедробилки, 3 — транспортер, 4 — силос для инертных, 5, 6 — транспортеры, 7 — сортировки, 8 — мерные приспособления (по объему), 9 — транспортер, 10, 11, 12 и 13 — мельницы, 14 — транспортер, 15 — подъемник, 16 — сита (вибрирующие), 17 — подъемник, 18 — бункер для песка, 19 — бункер для цемента, 20 — тележка, 21 — цементный шнек, 22 — весы для цемента, 23 — весы для песка, 24 — бетоньерка на 1500 л, 25 — барабан для распределения бетона, 26 — ленточный транспортер для бетона.

допускаемое напряжение на сжатие — 55 кг/см^2 ; временное сопротивление, полученное при испытаниях, — 240 кг/см^2 .

2. Одной из значительных современных французских гравитационных плотин является недавно законченная постройкой (конец 1934 г.)

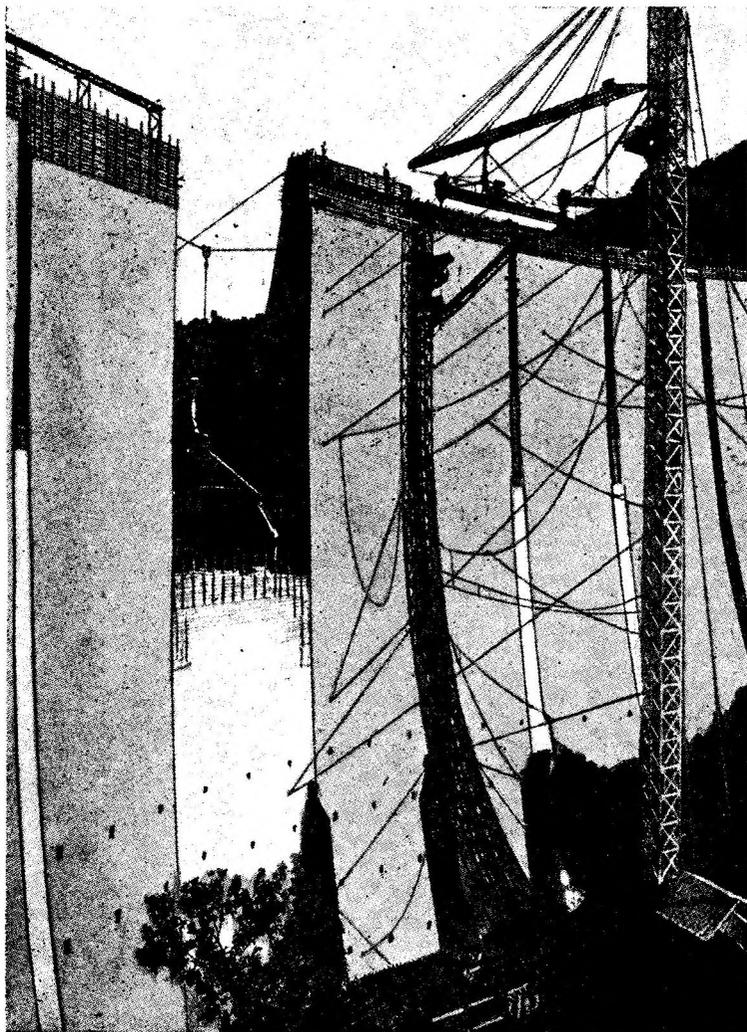


Рис. 53. Подъемная бетонная башня с ленточным транспортером на плотине Марез.

плотина установки *Cotэ*¹⁾ на р. Драк²⁾). Плотина расположена в узкому скалистом каньоне, имеющем в нижней своей части ширину 8—15 м

¹⁾ M. P. Sexary, *Quelques grands barrages francais de construction recente* (Travaux, № 25, 1935).

²⁾ Р. Д р а к является притоком Изэра и имеет средний расход, равный $33 \text{ м}^3/\text{сек}$. и наименьший — $7 \text{ м}^3/\text{сек}$. Образованное плотиной *Cotэ* водохранилище емкостью в 130 млн. м^3 позволит почти полностью зарегулировать расходы реки Драка. Установленная мощность *Cotэ* — $67\,500 \text{ кет}$.

я расширяемся на уровне гребня плотины до 80 м (рис. 54); по типу плотина приближается к гравитационной, имея в плане арочное очертание. Размеры плотины: наибольшая высота 126 м, ширина у основания — 75 м, у гребня — 3 м. Общая кубатура бетонной кладки — 103 000 м³. Водонепроницаемость бетонной плотины достигается: 1) применением более жирного и плотного бетона в наружной верховой части (активной арке) толщиной 17 м у основания плотины и 3 м —

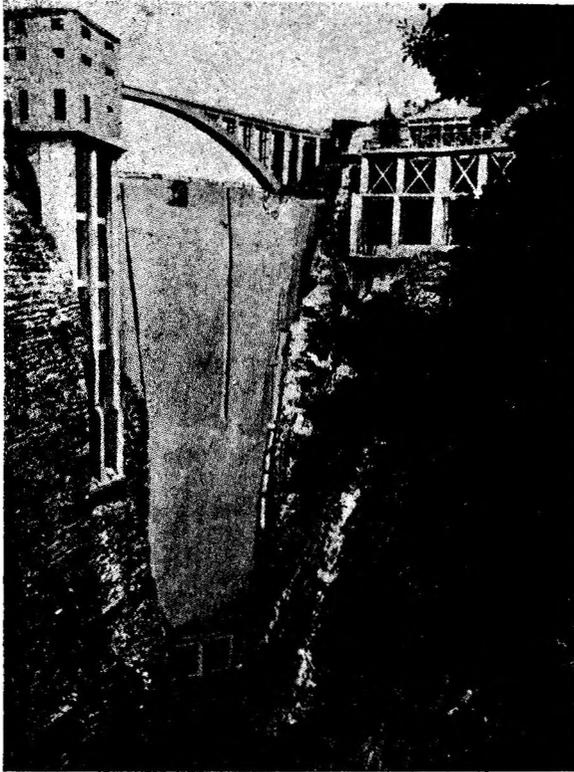


Рис. 54. Плотина Сотэ — общий вид на законченное сооружение с еще открытыми швами.

у ее гребня; 2) применением покрытия напорной верховой поверхности плотины слоем непроницаемой штукатурки и 3) цементацией скалы в основании плотины и обоих берегов по линии продолжения ее оси. Материалом для получения инертных — служит как подвергающаяся дроблению и сортировке каменная порода, так и естественный гравий, трижды промываемый вследствие значительного содержания глины. Инертные разбиваются на 6 фракции:

1	100—50мм
2	50—25 „
3.....	25—10 „
4.....	10—4 „
5.....	4—2 „
6.....	2—0,2„

Для хранения каждой фракции предназначаются силосы с приспособлениями для дозировки инертных по объему. Дневная производи-

тельность укладки бетона — от 300 до 400 м³. Инертные материалы из силосов ленточными транспортерами направляются в бетономешалки, из которых готовый бетон поступает в бадьи, установленные и перевозимые на платформах. С указанных платформ бадьи снимаются и доставляются непосредственно к месту выгрузки двумя кабельными кранами мощностью по 10 т каждый. Кабельные краны имеют одну

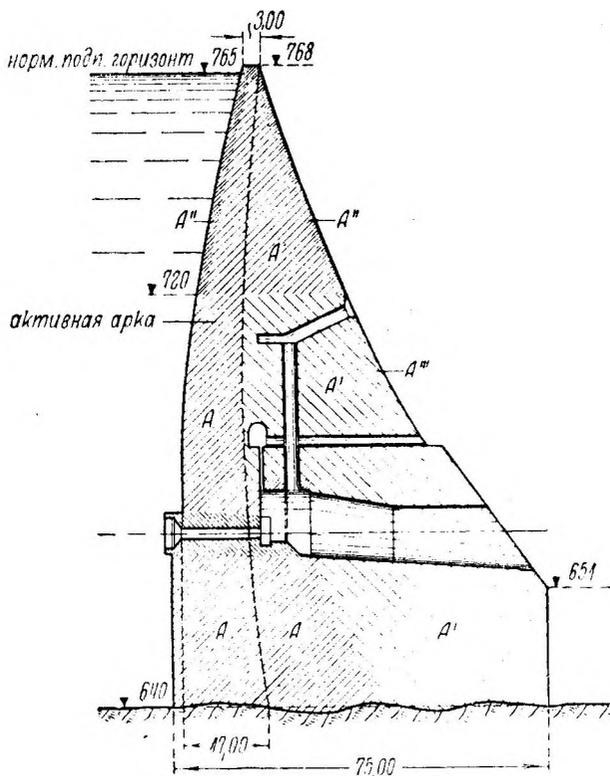


Рис. 55. Плотина Сотэ—поперечный разрез.

A—220 кг цемента на 1 м³, бетон вибрированный, *A'* — 180 кг цемента на 1 м³, бетон не вибрированный, *A''*—275 кг цемента на 1 м³, бетон вибрированный, *A'''*—220 кг цемента на 1 м³, бетон не вибрированный.

неподвижную опору на правом берегу и одну подвижную на левом. На 80 м выше основания тело плотины делится 2 радиальными швами на 3 части (рис. 54); швы имели ширину в 80 см и были закрыты через 4—5 месяцев после окончания бетонировки. Бетон для плотины применялся 3 марок¹⁾ (рис. 55):

A — максимальная крупность инертных — 100 мм. Количество портланд-цемента на 1 м³ бетона — 220 кг. Временное сопротивление на сжатие на 84-й день — 200 кг/см². Требуемая плотность — 0,85. Бетон этой марки укладывался с применением вибрации.

¹⁾ Такой же переменный расход цемента применен и на недавно законченной плотине Шамбон, сооруженной на р. Романш (округ Изэр). Высота плотины — 129 м, полная кубатура бетона с „изюмом“—300 000 м³. Бетон в основном литой с расходом цемента на 1 м³ в 250, 225, 200 и даже 150 кг (в незначительной верхней части).

A' — максимальная крупность зерен 100 мм; количество портланд-цемента - 180 кг/м³; временное сопротивление на 84-й день — 160 кг/см². Требуемая плотность — 0,82. Бетон этой марки при укладке не вибрировался.

Кроме этих двух марок, для внешних поверхностей плотины на высоте 46 м ниже отметки гребля применялся более жирный бетон марки A'' с содержанием цемента в 275 кг/м³. Цель этого — получить более морозостойкий бетон. Значения заданной плотности — 0,85 и 0,82 — весьма высоки и определяют весьма плотные, непроницаемые и прочные бетоны. Для сравнения отмечается, что литой бетон, примененный при постройке плотин в последние годы, имеет плотность порядка не более 0,78. Необходимо отметить введенную на этом строительстве классифи-

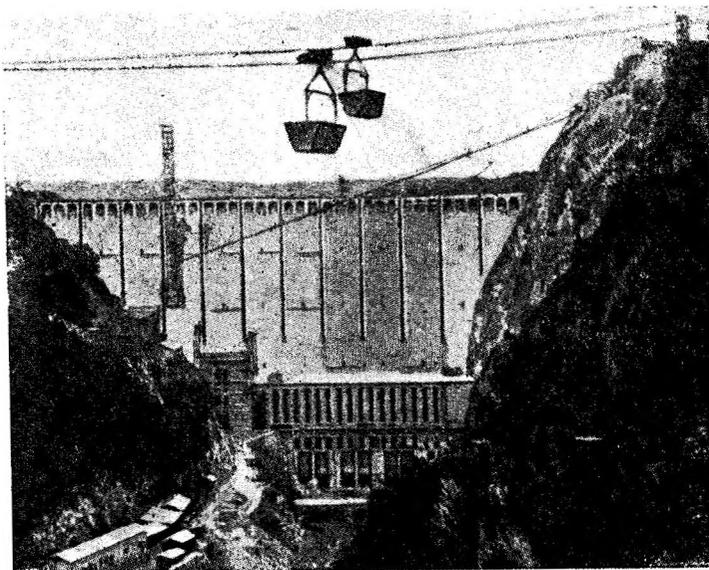


Рис. 56а. Плотина Сарранс — общий вид с низовой стороны.

калию применяемых бетонов в отношении их плотности. Проработка и внедрение в производство единообразной методики в этом направлении и внесение в вопрос измерения и проектирования необходимой *плотности* той стандартной определенности, которая существует в отношении *прочности*, является делом большой практической важности: и интереса. Гранулометрический состав подбирался по кривой Боломея. Так как плотность бетона уменьшается с увеличением содержания воды, решено было применять бетон пластичной консистенции с подачей его бадьями.

Имеющие место сжимающие напряжения во внешней части плотины при полной нагрузке достигают величины 20 кг/см². Таким образом при применении бетона с временным сопротивлением 200 кг/см² мы имеем 10-кратный запас прочности.

8. Далее отметим весьма значительную *гравитационную плотину Сарранс*¹⁾ на р. Ля-Труер, законченную постройкой в 1934 г.

¹⁾ Hydro-Electric Develop. at La Truyère, France (Engineering, №№ 3542, 3544 & 3545. 1933; L'Energia Elettr. № 9. 1934).

(рис. 56а). Плотина эта (расположена в глубоком ущелье и имеет высоту от подошвы до нормального горизонта 112 м при длине 225 м. Профиль плотины — обычный для гравитационных плотин, с уклоном передней (напорной) грани $0,03 : 1$ и низовой — $0,7 : 1$. Плотина в плане имеет очертание арки радиуса $R = 475$ л. Основание под плотинной — гранитная скала — подверглось цементации на глубину $1 - 1\frac{1}{2}$ м. По линии верховой грани плотины была произведена глубокая цементация

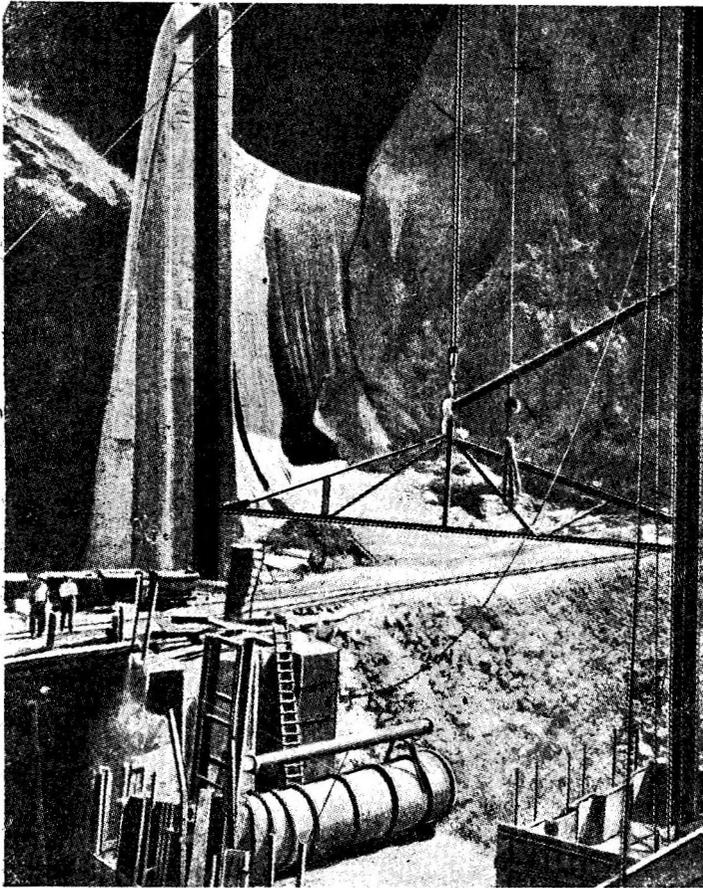


Рис. 56б. Плотина Бромма—вид на постройку.

скалы на глубину 40 — 50 м с образованием, таким образом, непроницаемой диафрагмы. Инертные материалы добывались из 2 карьеров, одного — базальтового, и другого — гранитного. Часть наиболее разрушенного гранита обращалась в песок и пыль (мелкий песок), употребляющуюся для примешивания к цементу в целях возможной его экономии и придания большей плотности смеси (максимальная крупность инертных — 12 см). Готовый бетон поступал к месту укладки по лоткам шириной в 50 см и глубиной 35 см. Таким способом было уложено до $\frac{3}{4}$ всего бетона (общая кубатура — 450 000 м³); для более высокой части плотины были использованы ленточный конвейер и кабельный кран. От применения изюма решено было воздержаться.

Плотина возводилась вертикальными секциями, разделенными уплотняемыми швами. Швы устраивались через каждые 15 м и, таким образом, секции возводились как монолиты с промежутками в 80 мм, доводимыми до основания и закрываемыми на верховой грани железобетонным шпонками (замками) многогранной формы, окруженными пластичным изолирующим слоем. Состав бетона колебался в зависимости от расчетных условий; к сожалению, подробных данных об этом не приводится. В качестве вяжущего материала применяли для нижних слоев плотины — портланд-цемент, а для верхних слоев — более дешевый шлако-портланд-цемент.

Наряду с установкой Сарранс, упомянем построенную на той же реке Ля-Трюер плотину Бромма высотой в 40 м арочную, имеющую толщину вверху 1,90 м и 8 м у основания (рис. 56б). Плотина состоит из 5 вертикальных секций по 18 м каждая; в швах предусмотрены вертикальные шпонки («замки»).

Объединенные установки Сарранс и Бромма будут иметь мощность до 270 000 кет с передачей этой энергии на Париж, Марсель и Сент-Этьен.

4. При описании плотины Сотэ нами было отмечено и описано получение плотных и экономичных бетонов с относительно умеренным содержанием цемента, а именно — 220 и 180 кг/м³. Другим примером возможности получения экономичных бетонов высокого качества в этом случае, за счет применения отощенных цементов, служит французская плотина Сансандинг ¹⁾ (р. Нигер, Африка) весьма крупное и важное колониальное сооружение, имеющее значение в отношении судоходства, ирригации, а также служащее для пропуска транс-сахарской ж. д. Вопрос возможной экономии цемента представлял здесь интерес с точки зрения непосредственного сокращения стоимости и расходов (покупка цемента и его транспорт) и с точки зрения возможного уменьшения выделения тепла при схватывании.

Отощенный цемент получали путем тесного смешения после совместного перемалывания портланд-цементного клинкера с естественными речными песками (из реки Нигер и карьера Куликоро) в пропорции 1:1. Опыты и исследования были проделаны в Лаборатории Ecole des Fonts et Chaussees в Париже. Бетонные образцы для сравнения затворялись на чистом и отощенном цементах, причем часть образцов подвергалась вибрации, а часть — нет. В качестве дозировки цемента исходили или из 200 кг чистого портланд-цемента на 1 м³ бетона, или же 350 кг отощенного цемента (содержащего 175 кг чистого цемента). Применение вибрации в течение 2 минут было достаточным, чтобы дать *практически непроницаемый бетон*; чтобы достигнуть эквивалентных результатов без вибрации, необходимо было (как показали опыты) повысить дозировку чистого цемента до 300 кг/см³ бетона. Влияние применения отощенных цементов (но сравнению с чистыми портланд-цементами) сказалось: в повышении прочности бетона (уже с раннего возраста) на 20%, в улучшении гранулометрического состава и в повышении водонепроницаемости (табл. 10)²⁾.

В самое последнее время в районе Нигера были открыты бокситы; однако ввиду полного отсутствия навести в этой части Африки не пред-

¹⁾ В основном земляная плотина общей длиной в 2650 м.

²⁾ E. Marcotte, Recherches sur les betons vibrés avec eiments amaigris, destinedes au barrage de Sansanding (Niger) (An. des Ponts et Chaussees, t. 11, f. V, 1934).

Таблица 10

Возраст	200 кг/м ³ чистого цемента		350 кг/м ³ отощенного цемента 1:1	
			Песчаник из Куликоро	Песок р. Нигер
28 дней	не вибрированный	вибрированный (2 мин на столике)	не вибрированный	вибрированный (2 мин на столике)
Фильтрация в л/час с 1 м ² бетона под давлением в 20 м	420	0,3	19	0,8

ставляется возможным наладить на месте производство цемента. Поэтому решено применять указанные бокситы в качестве добавок для получения описанного выше отощенного цемента; при этом портланд-цемент в виде немолотого клинкера привозится из Франции¹⁾.

§ 3. Германия и Австрия

Условия рельефа местности и наличие ряда значительных судоходных рек делают характерными для Германии работы по канализации рек отдельными напорными ступенями с постройкой при этом сравнительно невысоких плотин, шлюзов и прочих сооружений, где мы имеем дело с чисто бетонными или (слабо армированными конструкциями. Примером таких построек могут служить: сооружения на Ср. Изаре, включающие плотину высотой в 13 м и 4 гидро-установки (соответственно 4 ступеням), выполненные в 1925—1929 гг.; работы по канализации рр. Майна, Везера, Рейна и др.

Характерным при выполнении работ на строительстве сооружений указанного типа в Германии является: 1) стремление к возможному уменьшению расхода цемента на 1 м³ бетона и 2) применение гидравлических добавок к цементу, а также пуццолановых портланд-цементов и шлако-портланд-цементов. Приведенная общая характеристика Германии в отношении строительства гидросиловых установок относится и к Австрии, где примером сооружений такого типа могут служить установки Миксниц на р. Мур (с пиковой установкой Арнштейн-Тейгитш).

Примером постройки, более высоких плотин в этих странах является сооружение плотин: Вермунт (Австрия) и Блейлох (Германия).

1. Для характеристики массивных сооружений из бетона (неармированного или слабо армированного), представляющих строительство Германии по линии ступенчатых систем напорных сооружений, связанных с канализацией и шлюзованием рек, приведем описание работ на рр. Майне, Некаре и Везере.

А. При канализации р. Майна между Ашаффенбургом и Вюртцбургом запроектировано всего 13 напорных ступеней. При постройке в 1933 г. напорных сооружений Фаульбах, в частности при бетонировке стен камеры шлюза дайной в 300 м и шириной 12 м, применялся бетон состава: 1 часть цемента : 0,4 части гасса : 0,6 частей мелкого песка (Feinsand) : 2 части крупного песка : 5 частей гравия.

¹⁾ V. C., Emploi des bauxites du Soudan (Génie Civil, № 19, 1935).

Означенный состав дал весьма плотный бетон

При постройке установки Грисгейм у Франкфурта-на-Майне в плане шлюзования и канализации Нижнего Майна²⁾ массивные бетонные конструкции имели место при сооружении шлюзов и плотины (рис. 57). По степени ответственности частей сооружения применялись 4 состава

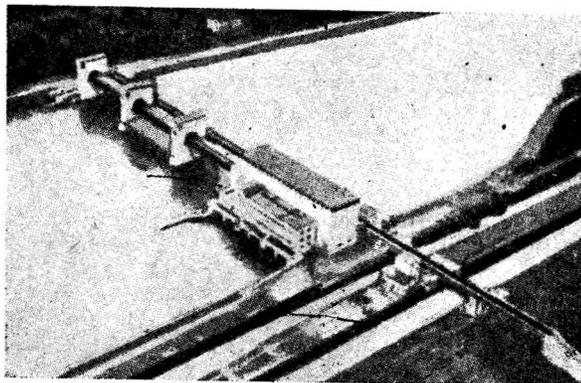


Рис. 57. Установка Грисгейм — на р. Майне—общий вид.

бетона с содержанием на 1 м³ бетона 178,5, 220, 240 и 270 кг шлако-портланд-цемента с прибавкой 26% (по объему) гравия. Инертные состояли из промытого речного песка и речного гравия; они смешивались при получении бетона в соотношении; 2 части песка на 3 части гравия и вместе с вяжущими веществами давал и гранулометрический состав, приближающийся к кривой Фуллера. При испытании прочности бетона на сжатие на заготовленных образцах 30 X 30 X 30 см получались следующие результаты (табл. 11):

Таблица 11

Содержание цемента на 1 м ³ готового бетона	Временное сопротивление сжатию на 28-й день в кг/см ²	Средний цементно-водный фактор
178,5	130	$\frac{C}{W} = 1,25; \quad \frac{W}{C} = 0,80$
220	163	$\frac{C}{W} = 1,50; \quad \frac{W}{C} = 0,67$
240	188	$\frac{C}{W} = 1,50; \quad \frac{W}{C} = 0,67$
270	210	$\frac{C}{W} = 1,78; \quad \frac{W}{C} = 0,56$

¹⁾ Gührs, Die Arbeiten der Reichswasserstrassenverwaltung im Jahre 1933 (Bautechnik, № 22, 1934).

²⁾ T. Pfeufer u. D. Holling, Das Wasserkraftwerk Frankfurt a/M. Griesheim (D. W. № 9, 1934).

Прочность бетона в готовом сооружении определялась испытанием образцов, выпиленных из стен головы шлюза и из плотины. При этом получено (табл. 12):

Таблица 12

Содержание цемента 1 м ³ бетона	Возраст бетона в днях	Временное сопротивление в кг/см ²
178,5	310	252
220	399	291
220	262	246

Испытания на водонепроницаемость производились над плитами размером 20 X 20 см, толщиной в 8 см, взятыми из сооружений; при этом образцы из бетона с содержанием цемента в 220 кг/м³ показали водонепроницаемость под давлением в 3,5 ат в течение 168 часов; образцы из менее жирного бетона (с содержанием цемента 178,5 кг/м³) не пропускали воду:

24 часа под давлением..... в 1 ат
 24 „ „ „..... „ 2 „
 48 часов „ „..... „ 3,5 „

Поверхность бетона после распалубки не подвергалась никакой обработке или штукатурке; лишь внешние поверхности бетона, находящиеся в земле или в воде, смазывались двойным защитным слоем битума.

Б. При постройке сооружений по канализации р. Некар были проделаны опыты по выбору типа цемента и инертных. ¹⁾ Целью этих опытов было получение наилучшего и наиболее экономичного гидротехнического бетона. Под наилучшим бетоном понимался *водонепроницаемым, водостойкий* (против химических влияний) и *достаточно прочный бетон*. Опыты по выбору сорта цемента производились над пластичным бетоном на рейнском гравии, при соотношении песка к гравиям 1 : 1,7, с содержанием в песке до 48% мелкого носка (Feinsand). Состав этот для возможности сравнения держался постоянным. Сначала было решено для частей сооружений, лежащих под водой, применять бетоны 2 составов: для наружного слоя применять лигой бетон с содержанием цемента в 360 кг/м³, яри наибольшем размере инертных — до 25 мм; для остальной части (внутренней) — бетон с содержанием цемента в 150 кг/м³. Так как, однако, оказалось, что при известных обстоятельствах я указанный наружный слой оказывался проницаемым и защитная штукатурка не помогала, пришлось отказаться от указанного разделения на слои. Вместо водонепроницаемого слоя и тощего ядра пришлось исходить из одного среднего состава водонепроницаемого бетона с повышением содержания цемента в экономически допустимых пределах. Во всех сравнительных опытах для выбора цемента дозировка цемента при приготовлении образцов была принята 205—210 кг/м³ бетона (дозировка, при которой бетон является а ргоіг проницаемым). Результаты испытаний — см. табл. 15.

Были испытаны следующие сорта цемента (табл. 13):

¹⁾ E. Rissel, Über Zement u. kiesauswahl für Betonbauten (Der Bailing. № 3/4 und 7/8, 1933).

Таблица 13

Сорта цемента	Состав в %	Тонкость помола: остаток в % на ситах с отверстиями на см ²			Содержание извести в %
		900	4900	10 000	
Портланд-цемент	—	1,8	14,5	29,1	63
Портланд-цемент 1)	Портланд-клинкер — 60	0,1	3,8	14,1	46
	Специальные добавки — 30				
	Доменный шлак — 10				
Трассо-портланд-цемент I	Портланд-клинкер — 75 Рейнский трассе — 25	2,1	14,8	28,6	52
Трассо-портланд-цемент II	Портланд-клинкер — 70 Рейнский трассе — 30	0,5	9,8	23,1	48
Трассо-портланд-цемент III	Портланд-клинкер — 70 Рейнский трассе — 30	0,1	2,4	11,1	49

Лучшие результаты в отношении водонепроницаемости показали: портланд-цемент и трассо-портланд III. Одновременно выяснилось, что портланд-цемент мало применим для гидротехнических сооружений. К этому заключению нужно прийти, в особенности если сравнивать содержание извести в разных цементах; к этому же выводу привели и сравнительные испытания водонепроницаемости для цементах различной крупности помола. Для этого к вышеприведенным сортам цементах были добавлены еще следующие (табл. 14):

Таблица 14

Сорта цемента	Тонкость помола: остаток в % на сите с отверстиями на см ²			Содержание извести в %
	900	4 900	10 000	
Трассо-портланд-цемент IV	0,1	1,2	6,9	49
Высокосортный портланд-цемент	0,1	2,8	14,4	63
Специальный портланд-цемент I	0,3	5,7	9,9	41
Глиноземистый цемент	0,1	5,6	18,0	35
Шлако-портланд-цемент	0,8	4,4	9,7	54
Специальный портланд-цемент II	0,9	10,8	14,9	36

В отношении выяснения влияния химических воздействий на бетон на строительстве были проделаны следующие опыты. Образцы из бетона с содержанием цемента 225 кг/см² помещались частью в горный поток, выпадающий в р. Некар, частью непосредственно в р. Бекар, частью же хранились на воздухе. Вода торного потока содержала 32 мг свободной углекислоты и при $P_H = 6,4$, в речной воде (Бекара) содержание SO_3 колебалось от 140 до 100 мг, при $P_H = 0.2$. По прошествии года, указанные

1) Специальные добавки в портланд-цемент цементах состоят из золы вюртембергских горючих сланцев, перемалываемых совместно с портланд-цементным клинкером. (См. проф. В. А. Кинд и доц. С. Д. Окорков, Строительные-материалы).

образцы не показали изменения ни водопроницаемости, ни прочности. При этих сравнительных опытах портланд-цемент и трассо-портланд-цементы показали одинаковые свойства и качества; они и были применены на постройке.

После выбора цемента были проделаны специальные опыты для установления оптимального гранулометрического состава и консистенции. Испытания производились о 2 выбранными (см. выше) сортами цемента. Испытание водонепроницаемости производилось над образцами в возрасте 300 дней; при этом мериллом водонепроницаемости служило количество воды $P \cdot 1 \text{ см}^3$, проходящее через 1 см^2 поверхности образца в 1 час. Наилучшее соотношение песка и гравия (песок: гравий) установлено

Таблица 15

Сопоставление результатов испытаний водопроницаемости п прочноти на сжа- тие бетонов различных консистенций (опыты строительства на р. Некар)

Сорта це- мента	Консистенция		Содержание во- ды в % по весу	Водоцементное отношение по весу $\frac{W}{C}$	Содержание це- мента M/M^3	Временное со- противление на сжатие на 28-й день в M/CM^2 кубов 20 см, объ- емный вес в KV/M^3	Водопроницаем. в среднем на 28-й день плиты в 20 см толщины в $CM^2/час$
	Обозначе- ние	Сплыв S Растекание на столике a					
А Портланд- цемент	Земельно- влажный	$S = 0$ a -распаде- ние	5,73	0,63	204	150 (2395)	0,1240
	Пластичный	$S = 3$ $a = 45$	7,08	0,77	213	100 (2340)	0,0165
	Литой	$S = 21$ $a = 55$	8,50	0,93	205	82 (2290)	0,0579
В Трассо- портланд- цемент	Земельно- влажный	$S = 0$ a -распаде- ние	5,32	0,58	209	319 (2380)	—
	Пластичный	$S = 5$ $a = 50$	6,86	0,75	206	242 (2370)	0,0099
	Литой	$S = 12$ $a = 58$	7,95	0,87	214	122 (2340)	0,437

было из опыта на водонепроницаемость и пределах 1:1,3 до 1:2. Песок применялся крупностью от 0 до 7 мм, а гравий от 7 до 70 мм. При применении *пластичного* бетона образцы — плитки толщиной в 20 см при давлении в 1,3 ат в течение 8—10 дней не пропускали воды; при этом, при применении трассо-портланд-цемента и 10 см плитки оказались, за незначительным исключением, водонепроницаемыми. При применении *литого* бетона на трассо-портланд-цементе с рейнским и некарским гравием крупностью до 70 мм лучшие результаты получились при содержании в песке 50% мелкого песка (от общего количества песка). В результате означенных опытов для сооружений на р. Некар был все же принят

литой бетон с соотношением $\frac{\text{песок}}{\text{гравий}} = 1 : 1,3$, с содержанием в песке от

35 до 40% мелкого песка.

В. Весьма подробное исследование строительных материалов было, кроме того, произведено при перестройке плотины у Дернердена на р. Везер. Перестройка эта явилась следствием разрушений в бетоне, произошедших от действия на бетон агрессивных вод: работы были начаты в 1930 г. Основным требованием, предъявленным к бетону и определяющим его состав, была *плотность* и вызываемая ею *водонепроницаемость*. При испытании этого основного свойства применялись образцы, представлявшие собой плитки размером 30 X 30 см при толщине 10 см. Эта толщина выбирается из соображения возможности получить из одного кубика 30 X 30 X 30 см с помощью металлических прокладок три испытательных образца совершенно одинакового состава. Означенные образцы зажимаются в специальном приспособлении, куда подводится под давлением вода. О водонепроницаемости образца судят по тому давлению, которое образец выдержит определенное время, *не пропуская вовсе воды*. Таким образом методика описываемых испытаний водонепроницаемости бетонов отличалась от опытов на р. Некар, где критерием водонепроницаемости служило количество воды, пропускаемой образцом в единицу времени на единицу поверхности,

Результаты указанных опытов сводятся к следующим требованиям:

1) Отделение песка от гравия и затем самостоятельная дозировка того и другого.

2) Разделение гравия на 2 самостоятельные фракции и дозировка смеси применительно к оптимальной кривой просеивания.

3) Мягкий (пластичный) бетон с возможно незначительным содержанием воды ($\frac{W}{C}$ примерно 0,65).

4) Жирная смесь.

5) Добавка грасса.

В соответствии с этими выводами был принят следующий состав бетона для Дерверденской плотины:

цемента.....	300 кг/м ³ бетона
грасса.....	75
гравия.....	7—15 мм— 510 л/м ³ бетона
.....	15—50 „— 400 „
$\frac{W}{C} = 0,65.$	

Из вышеприведенных описаний ряда характерных построек типа бетонных массивов можно заключить, прежде всего, о том, что вопросу плотности и водонепроницаемости бетонов уделяется в настоящее время в Германии наибольшее внимание. Затянувшееся в этой стране увлечение трамбованным бетоном с применением его и в гидротехнических сооружениях и имевшие место разрушения бетона¹⁾ показали, что для бетона гидротехнических сооружений плотность и водонепроницаемость важнее, чем излишняя прочность. Это положение по существу обусловило отказ от трамбованного бетона²⁾³⁾ и переход к бетонам пластичному⁴⁾ и литому. Насколько велико внимание, уделяемое вопросу о водонепроницаемости и плотности бетона, можно судить по тому, что в отчете о 1-м Конгрессе международного общества по испытанию материалов Dr. Hans Hecht характеризует это внимание, как «воплль о плот-

1) W. K i e f e r, Festigkeit oder Diehte Betons (B. u. E. № 17, 1932).

2) K. S e h i e n e r, Wasserundurchlässiger Beton (D. W., № 12, 1931).

3) A. A g a t z, Die rationelle Bewertshaftung des Betons (Berlin, 1927).

4) K. W a l z, Festigkeit u. Diehtigkeit des Betons (B. u. E. № 6, 1933).

ном бетоне» („Schrei nach dichtem Beton!“).¹⁾ Необходимость получения плотного и непроницаемого бетона вызвала, с одной стороны, стремление максимально использовать все возможности пластичного бетона с соответствующим подобранным гранулометрическим составом и достаточным количеством цемента, с другой стороны, стремление к экономии на цементе дало толчок к довольно широкому применению химических добавок и всевозможных патентованных средств (Sica, Tricosal и др.).²⁾

Наряду с этим следует отметить широкое применение: а) пылевидных добавок в целях уплотнения и придания большей подвижности бетонной массе при уменьшении содержания цемента, б) гидравлических добавок в целях уплотнения и достижения водостойкости и в) пуццолановых цементов, в частности шлако-портланд-цемента для ряда бетонных массивных сооружений,

В вопросе о защите внешних поверхностей бетонных плотин и массивов есть мнения о необходимости отказаться от штукатурки и даже каменной облицовки и перейти к искусственным: бетонным камням,³⁾ которым можно придать любые качества.

2. Для характеристики строительства бетонных плотин в Германии и Австрии, остановимся на главнейших и новейших постройках этого рода.

A. Плотина Вермунт. Насколько глубоко в немецких странах, наряду с мощным поворотом к пластичному гидротехническому бетону, вкоренилась тем не менее прочная традиция применения бетона трамбованного («Der heilige Stampfbeton» — священный трамбованный бетон, по шутливому выражению одного из немецких работников по бетону), причем трамбованного вручную, весьма ярко показывает пример постройки плотины Вермунт в австрийских Альпах, между Германией и Швейцарией, на р. Иль. Постройка эта, описание которой приводится ниже, замечательна, помимо этого, весьма совершенной организацией и выполнением бетонных работ, основанных исключительно на широком применении ленточных транспортеров. В Европе в этом отношении она стоит особняком, приближаясь с производственной стороны к плотине Дайабло (США — см. выше). В немецких странах некоторые авторы, подчеркивая ведущую роль этих стран в применении сухого бетона на ленточных транспортерах и, в частности, удачное применение этого метода на постройке плотины Вермунт, склонны противопоставлять постройку этой плотины постройке плотины Баульдер (США).

Установка Вермунт является первой установкой по утилизации р. Иль (ILL);⁴⁾ мощность ее — 125 000 ЛС. Плотина эта гравитационная, прямолинейная в плане, (рис. 58); высота ее — 52,50 м; длина — 384 м при общей кубатуре в 144 000 м³.⁶⁾ Постройка закончена в 1931 г. и продолжалась 3 года; причем благодаря весьма суровым климатическим условиям из этого периода времени 18 месяцев приходилось на зиму. Материалом для заготовки инертных служили местные речные наносы, состав которых выражался: в 31.5% (по весу) песка (0—7 мм),

¹⁾ G. Rothfuchs, Kornzusammensetzung von Betonmischungen zur Erzielung grosser Dichte (Zement, № 1, 1935).

²⁾ Из подобных средств у нас в СССР в употреблении церезит и гидрозит.

³⁾ P. Tölke, Die Sicherung von Betonstaumauem gegen Klimatische Einflüsse (Der Bauingenieur, № 13—14, 1932).

⁴⁾ A. T e d e s k o, Betonierung in Nord Amerika (Bautechnik, № 3, 1934).

⁵⁾ Br. Widmann, Bandbetonierung beim Ban der Vermunt—Stanmaner (Vorarlberg) (D.W. № 7, 1935).

⁶⁾ Belt Conveyors PL. Coner, for Vermunt Dam in the Alps (E. N.-R., № 4, 1932).

в 43,5% гравия и щебня (7—80 мм) и 25,0% крупных камней (80—250 мм). Материалы эти содержали до 3% глинистых примесей,

а потому нуждались в промывке. Незначительное содержание песка, недостаточное для выполнения работ, заставило прибегнуть к приготовлению и заготовке искусственного песка помощью шаровых мельниц и грохотов. Транспортировка всех материалов на склады, промывные устройства, дробилки, мельницы, грохота, бетонный завод, а также подача готового бетона к месту укладки совершалась помощью ленточных транспортеров, общее протяжение которых достигало 2 миль (из них на подачу готового бетона приходилось свыше 300 м) (рис. 59). Транспортеры с готовым бетоном были защищены навесами от действия дождя и солнца. Транспортеры подводили бетонную массу к подъемникам высотой В 48—72 м, из которых после подъема бетон опять таки транспортерами непосредственно выгружался на место укладки (рис. 60). Таким

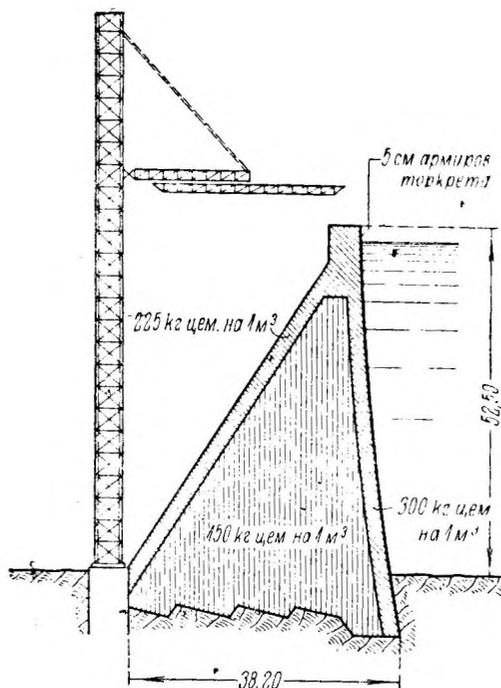


Рис. 58. Плотина Вермонт — поперечный разрез.

образом осуществлялся непрерывный поток бетона, обеспечивающий наибольшую однородность бетонной массе (Br. Widmann в этом отношении противопоставляет транспортеры кабельным кранам с ковшами и бадцами). Отмеривание и дозировка материалов для бетона производи-

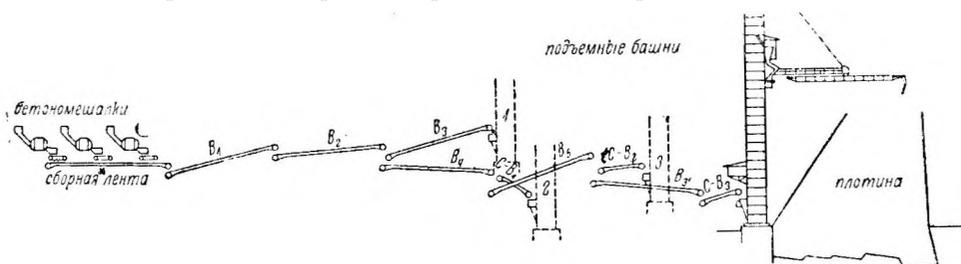


Рис. 59. Схема расположения ленточных транспортеров.

лисы цемента — автоматическими весами, а инертных — помощью конвейеров с точно регулируемой скоростью, благодаря чему точность отмеривания этих материалов равнялась +1%. Все тело плотины было разделено на блоки вертикальными температурными швами, расстояние между которыми колебалось от 13 до 31 м. Температурные швы закрывались поперечными диафрагмами и поперечными железобетонными шпонками с изоляцией тройным слоем толя (рис. 61). Наружная поверх-

ность бетона покрывалась слоем армированного торкрета и смазывалась инертолем. Для ядра плотины (все тело, за исключением наружного слоя толщиной, примерно, в 1 м) применялся бетон земельно-влажной

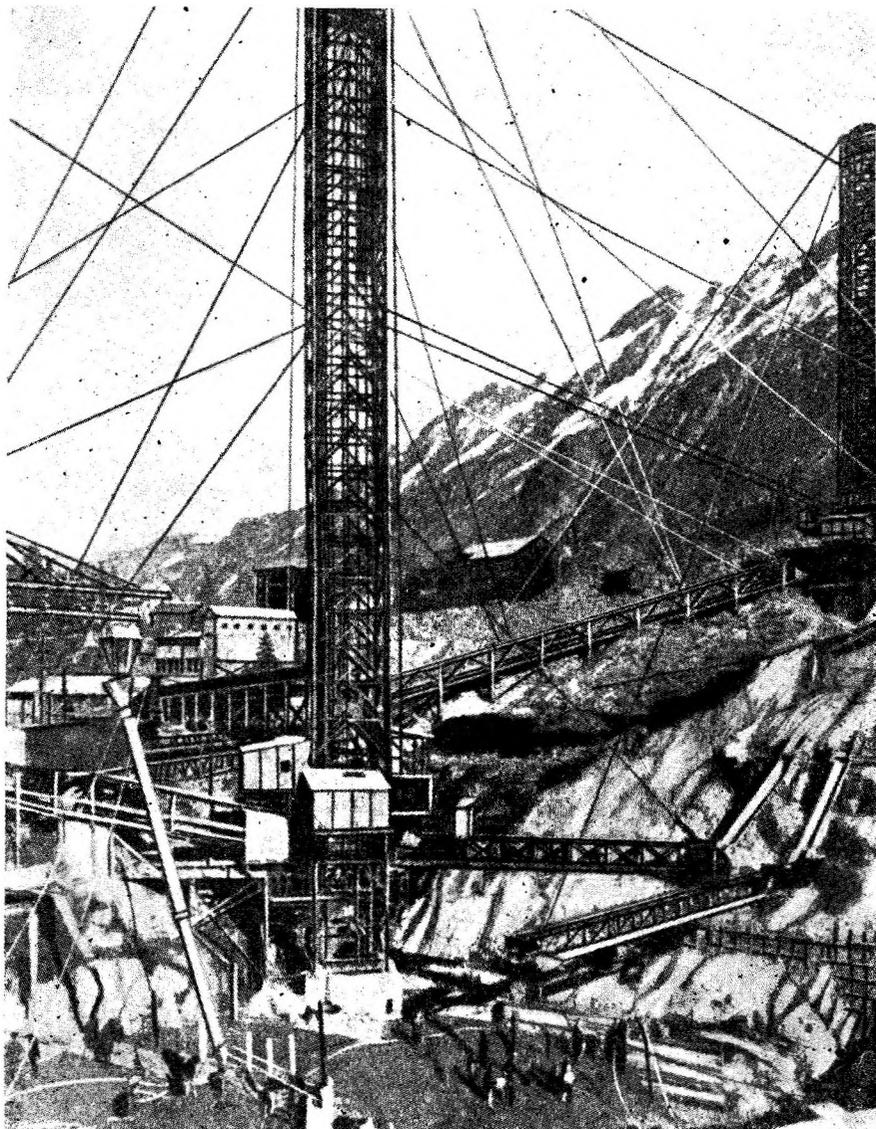


Рис. 60. Подъемная башня для бетона на плотине Вермонт.

консистенции с содержанием цемента в 1 по $кг/м^3$ (2/3 бочки на 1 куб. ярд). Для низовой (воздушной) грани толщиной 2 м применялся бетон переходный к пластичному с содержанием цемента в 225 $кг/м^3$ и, наконец, для верховой грани — пластичный бетон с содержанием цемента в 300 $кг/м^3$. Укладка бетона производилась ручным трамбованием без применения вибраторов. При испытании образцов получены следующие

значения временного сопротивления на сжатие на 28-й день: а) для ядра — 163 кг/см^2 ; б) для облицовочного слоя воздушной стороны — 242 кг/см^2 и в) для облицовочного слоя верховой стороны — 273 кг/см^2 .

Сравнивая постройку плотины Вермонт с плотиной Дайабло, где также имело место применение ленточных транспортеров при укладке бетона, можно отметить следующее. На плотине Дайабло основной бетон всего тела плотины имел содержание цемента на 1 м^3 большее, чем в плотине Вермонт; загрузочный замес для бетономешалки в $1,6 \text{ м}^3$ на плотине Дайабло состоял из 454 кг цемента, 1119 кг песка и 2340 кг крупной камневидной составляющей. Общая кубатура бетона в теле плотины

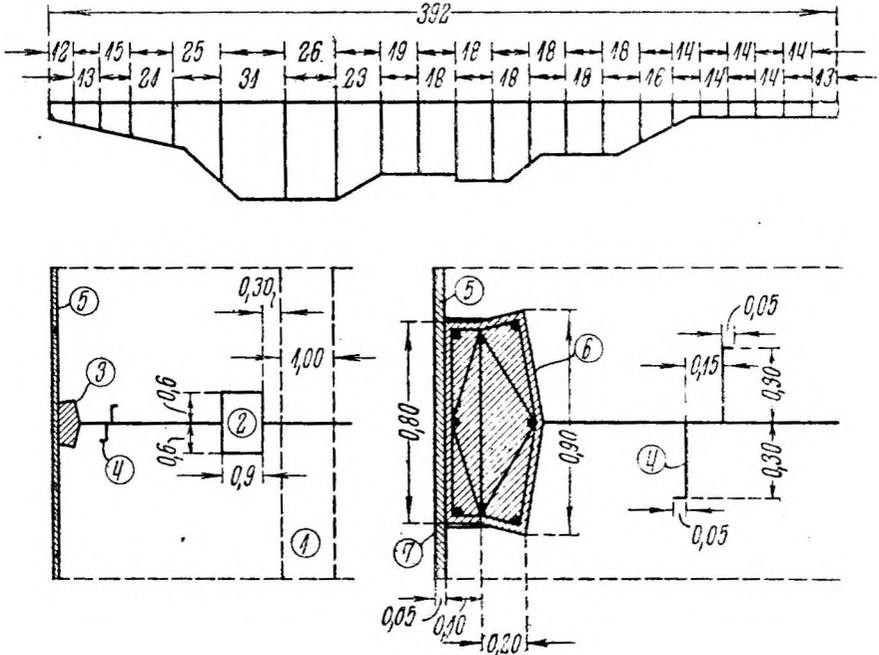


Рис. 61. Конструкция температурных швов на плотине Вермонт.

1 — смотровая галерея, 2 — смотровой колодец, 3 — армированная уплотняющая бетонная шпонка, 4 — медная диафрагма, 5 — слой армированного торкрета, 6 — тройная толь, 7 — с мазка инертолом.

Дайабло была примерно вдвое больше, чем на плотине Вермонт; при этом имела место пластичная консистенция бетона, укладываемого с ручной проработкой. Нельзя не признать американского решения более спокойным и надежным, так как при отсутствии вибрации нам кажется все же рискованным, базируясь хотя бы на самой точной работе и четкой организации, ставить вопрос непроницаемости плотины (а следовательно, и ее долговечности) в зависимости лишь от качеств верхового облицовочного слоя. В отношении экономии — немецкие авторы приводят в обоснование своих выводов и решения разницу в сравнительной стоимости рабсилы и цемента в Европе и США. Тогда как в США стоимость 100 кг цемента соответствует, примерно, стоимости 1—2 рабочих часов, в Европе эти же 100 кг цемента соответствуют уже стоимости 5—7 рабочих часов. Вне всякого сомнения, что это обстоятельство сильнее всего способствовало развитию применения пластичного бетона в Америке и, наоборот, тормозило его в Европе, где, таким образом, экономия

на цементе за счет усиленного трамбования становилась экономически выгодной. Учитывая целиком и полностью дефицитность цемента в наших советских условиях, мы, тем не менее, считаем необходимым учесть также и возможное ускорение производства работ при переходе к пластичным бетонам и возможную при этом значительную экономию за счет уменьшения объема дорогостоящих работ по сооружению наружной изоляции (см. пример плотины Вермонт). Большого внимания заслуживает, кроме того, значительное упрощение и удешевление организации полевого контроля бетона при пластичной консистенции по сравнению с тощими трамбованными бетонами, вызывающими необходимость особо усиленного наблюдения за выполнением указанных предельно-низких дозировок, чтобы застраховать себя от печальных последствий их случайного нарушения в сторону уменьшения. Все эти доводы говорят за то, что в наших условиях несомненно более приемлемым явится применение пластичного бетона с нормальным содержанием цемента, с использованием вибрации и с возможной (в случае надобности) последующей цементацией бетона и швов, так широко и, невидимо, удачно применяемый при постройке итальянских и американских бетонных плотин.

Почти одновременно с постройкой плотины Вермонт в Австрии были сооружены в Европе еще 2 плотины, аналогичные по своим размерам типу плотины Вермонт. Таковы плотины: *Влейлох* (Германия, Тюрингия) и *Фрайн* (Чехо-Словакия). Интересно привести их краткое описание для сравнения различных примененных способов решения задачи.

В. Плотина Блейлох (Германия)¹⁾ — гравитационная плотина высотой в 65 м, длиной по гребню в 210 м, при ширине у гребня 6,70 м и у основания — 46 м. Общая кубатура бетона—182 000 м³. Работы по постройке плотины закончены в 1931 г. Бетонировка этой плотины произведена литым бетоном, для транспортирования которого, однако, применен специальный мост для бетонирования. Мост этот был устроен на бетонных опорах (рис. 62) размером 3,8 X 6,0 снабженных со всех 4 сторон вертикальными штрабами; означенные опоры впоследствии вошли в тело плотины. Верхняя часть этого моста была устроена в виде раскосной фермы с параллельными поясами. По верхнему поясу проис-

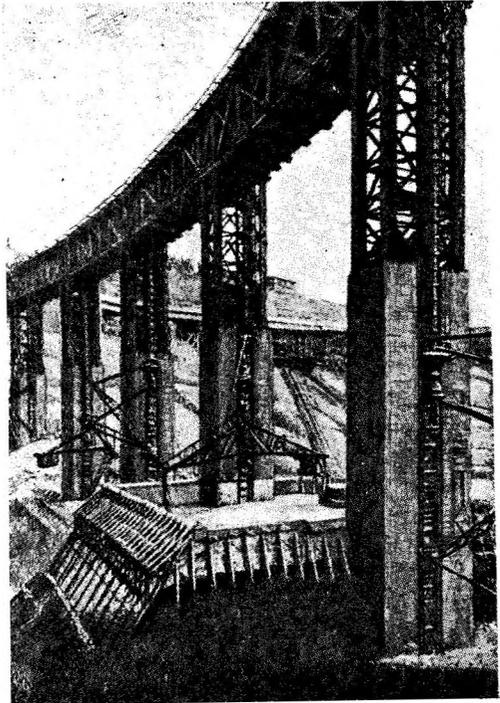


Рис. 62. Эстакада для бетонирования на плотине Блейлпх.

¹⁾ W. K e s s e l h e i m, Die Bauausführung und Bauelrichtung der Sperrmauer und des Krafthauses am kleinen Bleiloch (Thüringen) (Der Bauingenieur, № 13/14, 1932.

ходило передвижение составов, подававших материалы для приготовления бетона; его нижнему поясу были проложены рельсы, по которым передвигались 4 бетономешалки *ibag* по 1500 л каждая. Изготавливаемый

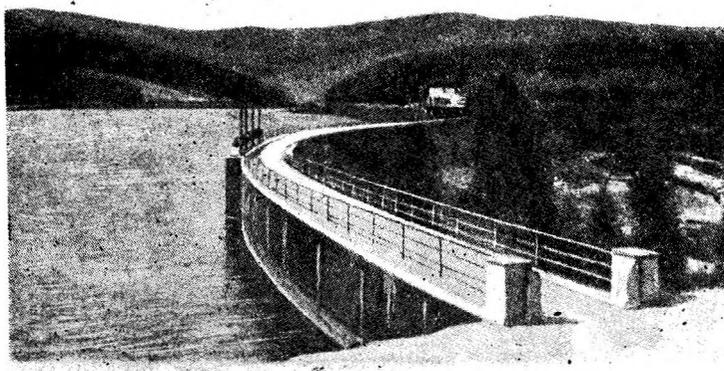


Рис. 63. Плотина Пак — вид с верховой стороны

ими бетон попадал в бункер и далее в вертикальную трубу, внутри которой были помещены наклонные площадки, наставлявшие бетон падать по зигзагу от одной площадки к другой (и целях предохранения от расслаивания). Из этих труб, расположенных в вышеуказанных вертикальных

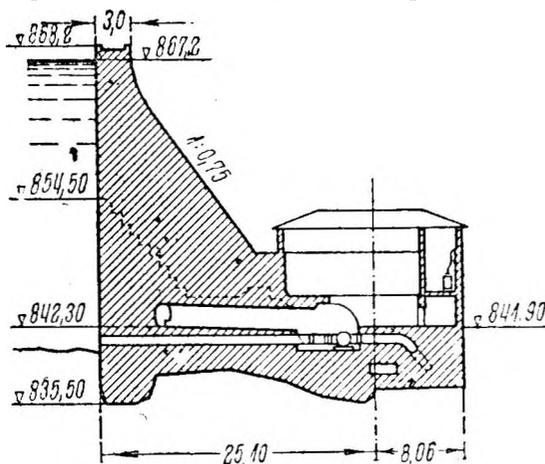


Рис. 64. Плотина Пак — поперечный разрез.

штрабах бетонных опор моста, бетон попадал в передвигаемые вверх и вниз распределительные бункеры, откуда по открытым лоткам он стекал уже к месту укладки. В качестве вяжущего для приготовления бетона применялась смесь портланд-цемента с основным гранулированием доменным шлаком (Турамент) в пропорции 1 : 2. Оба эти материала доставлялись на постройку в отдельности и там уже (перемешивались на специальной установке с максимальной производительностью до 30 т смеси

в час. Инертные материалы изготовлялись из местной породы — диабаз. Состав инертных на 1 м³ бетона следующий:

823 кг	песка 0—7 мм.....	41,7%
700 „	мелкого щебня 7—30 мм.....	35,2%
458 „	крупного щебня 30—60 мм.....	23,1%

Наибольшие показатели по изготовлению и укладке бетона следующие: в месяц — 29 000 м³ и в день — 1 540 м³ (рекордная цифра). По этим и вышеприведенным цифрам примерно можно судить о расходе вяжущих на 1 м³ бетона.

В. Платина Пак (Раек), Австрия, законченная постройкой в 1930 — 1931 гг. Эта плотина образует водохранилище в долине 2 ручьев Mod-

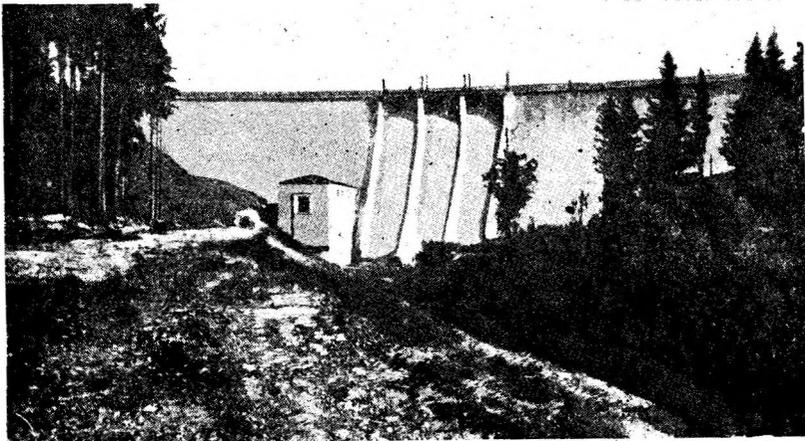


Рис. 65. Плотина Пак — вид с низовой стороны.

gach и Раек для регулирования установки Arnstein (см. выше), рис. 63 и 65. Она представляет собой гравитационную плотину в форме арки, длиной что гребню 183 м. Наибольшая высота 33,2 м; откосы: со стороны воды — вертикальный, а с воздушной стороны — 1 : 0,73 (рис. 64). Инертными материалами для бетона послужил дробленый слюдястый сланец (шифер), ¹⁾ добывающийся неподалеку от места расположения плотины.

Принятый состав бетона (на 1 м³):

мелкого песка.....	0—4 мм — 500 л
крупного.....	4—14 „ — 320 „
мелкого щебня.....	14—52 „ — 410 „
крупного „.....	52—80 „ — 330 „
цемента.....	от 180 до 200 кг
воды.....	180 л

Бетонная масса пластичном консистенции поступала с лесов по трубам и при укладке трамбовалась. Объемный вес бетона 2,46 т/м³; временное сопротивление на сжатие на 28-й день в среднем 100 кг/см². Уплотнение и водонепроницаемость плотины достигаются следующими мероприятиями:

¹⁾ Н. G r e n g g, Die Talsperre Pack (Wasserwirtschaft und Technik, № 1, 2, 3, 1935).

а) с верховой стороны бетон штукатурится по проволочной заанкерванной сетке; поверхность штукатурки гладко затирается и раз в несколько лет покрывается патентованным составом Siderosten-Lubrose;

б) температурные швы, делящие тело плотины на 9 блоков с расстоянием между швами от 14,6 м до 25,6 м, закрываются медными поперечными листами (диафрагмами) и асфальтовыми шпонками (15 X 15 см);

в) окала основания и бетон подвергаются цементации.

Г. Плотина Ционау у Крибштейна (Саксония) (рис. 60). На этой плотине, ¹⁾ законченной в 1930 г., впервые в строительной практике Саксонии отказались от каменной кладки на растворе и применили бетон

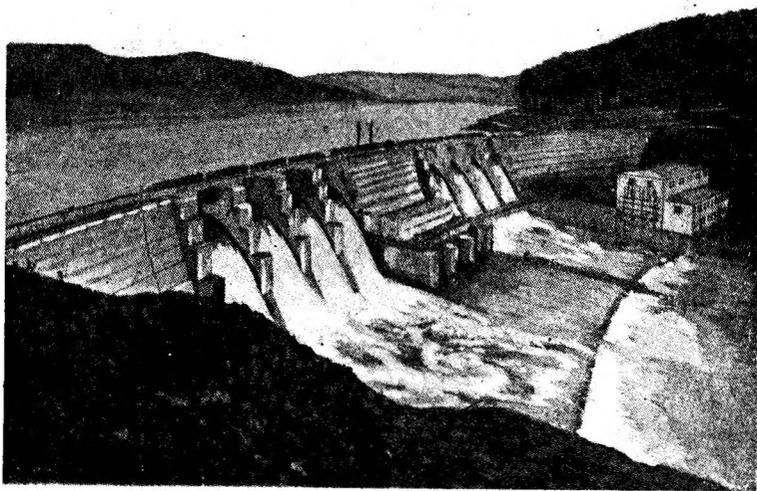


Рис. 66. Плотина Крибштейн — общий вид.

(литой) в общем объеме — 82 000 м³.²⁾ Плотина гравитационная, криволинейного очертания в плане ($R = 225$ м), длиной в 235 м; наибольшая высота плотины 28,25 м при наибольшей ширине 22,41 м. Плотина разделена швами на блоки через 20 м. В каждом шве одна стенка обмазывалась битумной массой и обклеивалась битумным картоном. Непроницаемость швов достигалась заделкой медных листов (диафрагм). С верховой стороны плотина торкретировалась слоем в 2,5 см (раствором 1 : 3, по объему) с уплотняющей затиркой. По этому слою следовала тройная окраска с треолитом. Литой бетон содержал 200 кг портланд-цемента и 75 кг трасса на 1 м³ бетона. На основании позднейших исследований во

¹⁾ Voigt und Netoliczka, Die Zehopautalsperre bei Kriebstein in Sachsen (W. u. W. № 9, 1931).

²⁾ Для примера плотины из кладки на растворе приводится плотина *Вайсцерри* в Саксонии, выстроенная в 1927—1932 гг. Основной материал — бутовая кладка на сложном растворе: 0,6 частей цемента + 1,9 частей трасса + 0,76 частей, извести + 5 частей песка. С напорной стороны имеется каменная облицовка и слой литого бетона (в нижней части напорной грани) с раствором состава: 0,8 частей цемента + 0,3 части трасса + 6,0 частей песка. Для придания водонепроницаемости бутовой кладке она покрывается слоем торкрета до 2—2,5 см (состав раствора по объему: 1 часть цемента + 0,5 частей трасса + 3 части песка) и три раза смазывается инертным (см. Gruhle, Weiszeritzalsperre an der Lehmühle — Der Bauingenieur, № 11/12, 1934).

время строительного периода эта пропорция была уменьшена до 180 кг портланд-цемента и 65 кг трасса. (Небезынтересно отметить, что подошва донных спусков, где вода пронесится со скоростью 19 м/сек, укреплена «диамант-бетоном» системы Кленнлогеля на проволочной сетке).

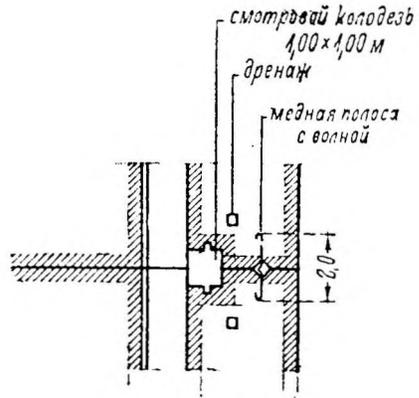
Влияние вышеизложенной методики постройки саксонских бетонных плотин сказалось на недавно законченной плотине Чубук (на р. Чубук) у г. Анкары в Турции, выстроенной по проекту, составленному в Германии, и при участии немецких инженеров.

В опубликованном описании этой постройки¹⁾ приведены ссылки на плотину Цшопау (Крибштейн). Плотина Чубук имеет своим назначением создание водохранилища для водоснабжения г. Анкары; плотина гравитационная в форме арки, радиуса по оси 220 м. Наибольшая высота плотины (над местностью) — 25 м, а над наинизшей отметкой основания — 55 м. Первоначально возникшие предположения строить плотину из каменной кладки не могли быть осуществлены из-за отсутствия на месте пригодного естественного камня. вследствие чего была сооружена плотина из бетона.

При установлении состава бетона (в частности, расхода цемента) исходили из дозировки, примененной на плотине Цшопау, и приняли следующий расход цемента на 1 м³ бетона:

- а) для внешнего облицовочного слоя бетона толщиной в 2 — 3 и с напорной стороны — 216 кг цемента плюс 85 кг трасса и б) для остальной части тела плотины — 216 кг цемента.

Вследствие значительных годовых колебаний температуры (—30° зимой и + 60° летом) постоянные температурные швы запроектированы на расстоянии 12—14 м. Закрытие их осуществляется посредством медных полос в виде волны толщиной в 2 мм и шириной в 2 м. Эти полосы закладываются в шов в расстоянии 1 м от внешней поверхности. Волна заделывается в специальную шишку размером 20 X 20 см, наполненную битумом. На каждом температурном шве за указанной медной диафрагмой устроен смотровой колодец размером 1.0 X 1.0 м (рис. 67).



] 'нс. (i7. Конструкция температурного шва на плотине Чубук.

§ 4. Чехо-Словакия

Плотина Фрайн на р. Тана²⁾ (1930—1933 г.) служит, главным образом, для создания водохранилища емкостью в 168 млн. м³; кроме того, одновременно используется и водная энергия и сооружается гидростанция со средней мощностью в 6 000 ЛС. Плотина гравитационная, высотой в 55 м, сооружена из литого бетона. Общая кубатура бетона (с водобойной частью) составляет 172 000 м³. Инертные материалы — щебень, а также весь песок изготовлены искусственным путем из местной породы — амфиболита (роговая обманка), добываемой на расстоянии

¹⁾ Prof. W. Kun ze, Die Tsehubuk-Talsperrebei Ankara (Türkei.) (W. u. W., № 11, 1935).

²⁾ A. D r e b e r a , Zweckmassige Einrichtung einiger Grossbaustellen in der Czechoslowakej (B. u. E., № 6, 1931).

1,2 км. После дробления и перемалывания породы получались инертные следующих 4 фракции: 1) песок, мелкий (0—2 мм); 2) песок крупный (2—7 мм); 3) щебень мелкий (7—25 мм) и 4) щебень крупный (25—70 мм). Материал подавался на бетонный завод, расположенный на левом берегу, где и сортировался, а затем вместе с цементом шел в бетономешалки. Все мерные операции по отмериванию инертных материалов были механизированы: цемент дозировался по весу на автоматических

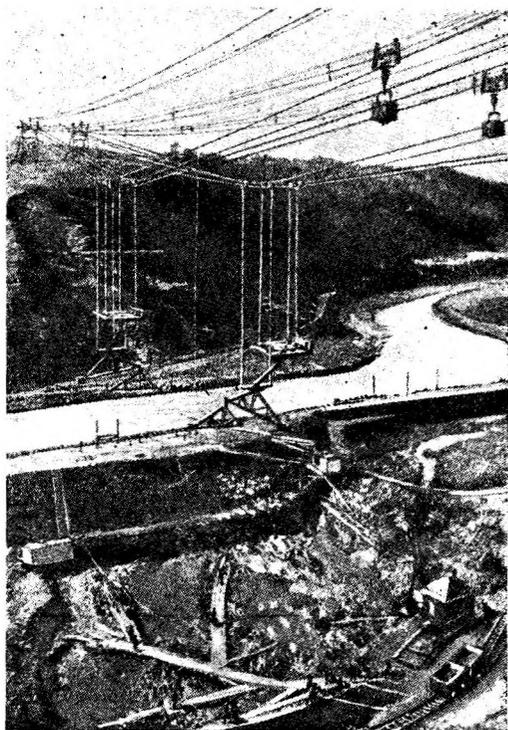


Рис. 68. Кабельный кран на плотине Фрайн — ковши и подвешенные желоба.

весах. Бетономешалок было 2, но 1 300 л каждая. (В имеющихся пока по этой постройке печатных материалах, к сожалению, отсутствуют сведения о составе бетона — С. В.).

Для подачи литого бетона служили 2 постоянных кабельных крана, которые, помимо передвижающейся тележки, поддерживали еще и подвесные желоба для бетона (рис. 68).

§ 5. Швейцария

Для характеристики современных бетонных плотин Швейцарии можно привести описание установок Оберхазли. Сооруженные там плотины из бетона, главным образом гравитационные, очерчены в форме арки и отличаются нередко значительной высотой, выдвигающей их на рекордные мировые места. Орографические местные условия, выражающиеся в наличии крупных и глубоких долин и ущелий, в связи с климатическими особенностями создают много специфических

трудностей и определяют обычно способ производства работ при сооружении подобных бетонных плотин, применением кабельных кранов. Все это, вместе взятое, обуславливает сходство этих плотин с новейшими американскими сооружениями такого типа.

Силовые установки Оберхазли¹⁾ расположены в центральной части Швейцарских Альп, в районе реки Ааргт. и состоят из 2 ступеней:

- а) Гандек (верхняя ступень) мощностью 120 000 лс и
- б) Иннерткирхен (нижняя ступень) мощностью в 160 000 лс. полный напор при этом: 540 + 644 = 1184 м.

Река Аара и ее притоки берут свое начало в мощнейших ледниках. Для аккумуляирования большой массы воды, образующейся летом во время таяния снегов, служат 2 водохранилища: а) Гримзель — на 100 млн. м³ и б) Гельмер — на 13 млн. м³, которые образуются из мест-

¹⁾ А. Leon, Die Kraftwerke Oberhasli in der Schweiz (В. u. E., № 7/8, 1932).

ных горных озер помощью трех водоудержательных плотин: 1) Гримзель (Spitallam); 2) Зеенферегг и 3) Гельмер.

1. *Плотина Гримзель*¹⁾ (закончена постройкой в 1932 г.) имеет в плане арочное очертание ($R = 90$ м); наибольшая высота ее — 114 м, длина по гребню — 258 м, шприца — у гребня 4 м и у основания — 60 м при полном объеме бетона в 340 000 м³. По типу она представляет среднее между гравитационной и арочной плотиной; в поперечном сечении плотина треугольная, с верховым откосом — 0,10 и низовым — 0,50. По формуле круговой арки осевое напряжение на сжатие равно 21,8 кг/см²; в расчете рассматривается совместная работа арки и консоли. Ущелье весьма узкое с гранитными берегами. Тело плотины выполнено из *пластичного* бетона при расходе цемента в 190 кг/м³ бетона. Ввиду сурово-

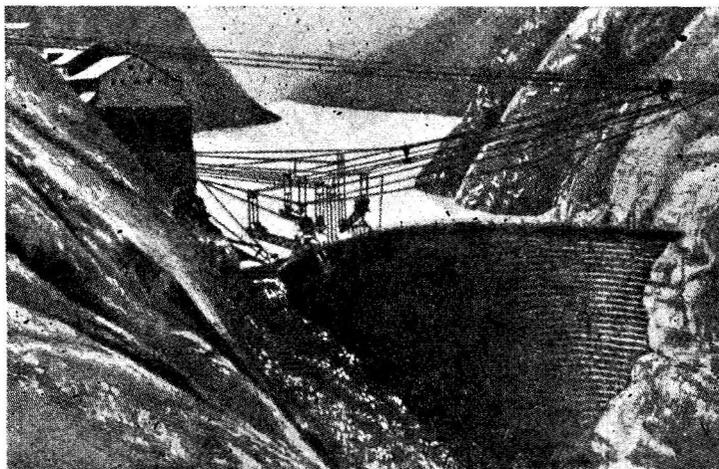


Рис. 69а. бетонировка плотины Гримзель — кабельный кран с ковшом на 3 м³.

ста климата были приняты специальные меры для защиты бетона. Вдоль верховой грани применялся бетон очень жирного состава — в 300 кг цемента на 1 м³; низовая грань сделана ступенчатой и покрыта гранитной кладкой (рис. 69а), позади которой заложена, развитая дренажная система, перехватывающая воду, могущую оказаться в теле плотины, несмотря на предосторожности. Для транспортировки бетона пользовались кабельным краном с укладкой бетона либо помощью лотков, либо ковшей емкостью в 3,2 м³. При начале бетонировки в 1928 г. были оставлены незаделанными вертикальные радиальные швы, чтобы облегчить возможность удаления тепла, образующегося при схватывании бетонных массивов. Указанные радиальные швы должны были быть заполнены бетоном и заделаны при низких температурах после окончания указанного процесса охлаждения. Для контроля и наблюдений в бетон было заложено большое число термометров. После таяния снега, в начале следующего сезона, было обнаружено, что бетонные секции сократились в объеме не только в направлении, перпендикулярном к радиальным швам, но и в направлении от верховой грани к низовой. Это обстоятельство вызвало

¹⁾ N o e t z l i , Arch Dam Built in Isolated Blocs (Eng. News-Rec., vol. 110, № 3, 1933)

появление трещин в направлениях, приблизительно параллельных оси плотины. Трещины располагались на расстоянии 12—18 м друг от друга и достигали ширины до 1,6 мм. Ввиду серьезного значения, придававшегося этим трещинам, было решено для воспрепятствования их движению вверх заложить достаточное количество арматуры в первых слоях бетона, непосредственно следующих за бетоном, уложенным в предыдущий сезон. Кроме того, было решено залить образовавшиеся трещины раствором в практически возможных пределах. В последующем, чтобы избежать тех же явлений, были предусмотрены продольные швы, образовав-

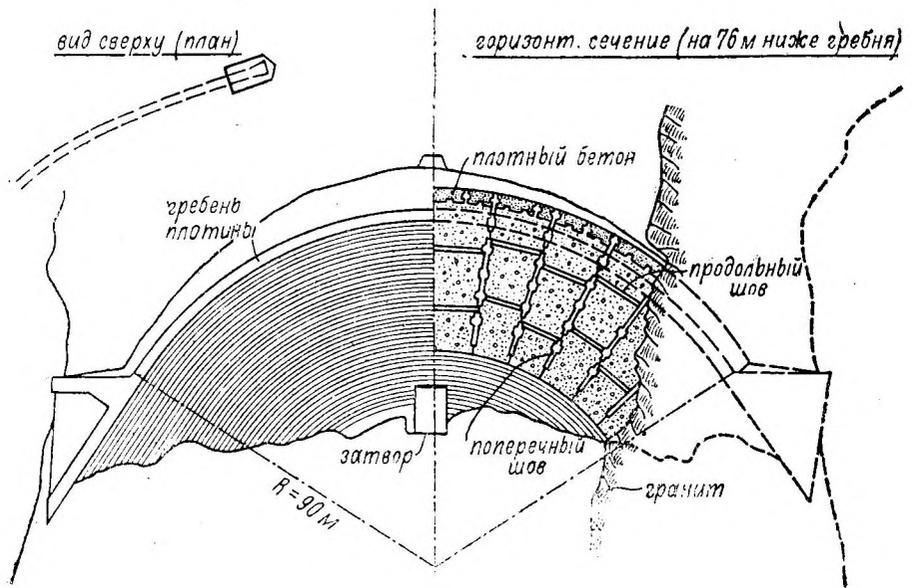


Рис. 696. Горизонтальный разрез плотины Гримзель.

шие, таким образом, с радиальными швами отдельные блоки протяжением не более — 15 м в длину и ширину. В соединении блоков были предусмотрены штрабы. Радиальные швы закладывались в одной плоскости по всей высоте, продольные же — закладывались в шахмат (по разным радиусам), рис. 69б; они успешно препятствовали в будущем образованию вышеописанных трещин.¹⁾

2. *Плотина Зеенферегг* — гравитационная, прямолинейного очертания, высотой $H = 42$ м, длиной по гребню 352 м и при общей кубатуре $V 70\ 000\ м^3$.

3. *Плотина Гельмер* (третья плотина) — гравитационная, в форме арки, наибольшей высотой $H = 35$ м, длиной по гребню 370 м при общей кубатуре $81\ 000\ м^3$.

Обе последние плотины, подобно первой плетине (Гримзель), выполнены из пластичного бетона. Схема работы описанных установок следую-

¹⁾ Появление таких же трещин в бетоне было замечено на плотине Сен-Марк во Франции; описание этого приводит А. Р е н о, *Annales des Ponts et Chaussées*, № 9, 1930. Указанная плотина гравитационного типа, в форме арки, высотой $H = 45$ м и толщиной = 36 м. С целью ремонта плотина была армирована, и трещины были зацементированы.

шая. Из подпертого Гримзельзее (1-е водохранилище) вода по соединительному тоннельному участку (круглого сечения) длиной в 5220 м попадает в Гельмерзее (2-е водохранилище), из которого она подводится напорным трубопроводом с падением в 545,5 м к 1-й установке Гандек. Далее следует опять тоннельный участок, длиной в 10 км до напорного бассейна, из которого помощью, опять-таки, напорной штольни с падением в 666,9 м вода попадает во 2-ю установку — Иннерткирхен.

В заключение необходимо упомянуть о специфических чисто местных трудностях производства, работ на описанных установках:

во-первых, это обусловливается затрудненной связью с местами построек, особенно во время зимнего и весеннего периодов, выражающейся в затрудненности подвоза на работы стройматериалов, предметов снабжения, оборудования, а также в целом ряде трудностей бытового характера;

во-вторых, это выражается в трудностях организации и расположения складов, бетонных заводов и всякого рода вспомогательных сооружений и поддержания регулярного сообщения между ними;

в-третьих, наконец, это вызывается климатическими особенностями горной местности, где в году насчитывается не более 100 полноценных рабочих дней.

Все перечисленные трудности, в большей или меньшей степени, имели также место и на постройке плотины Вермонт (см. выше) в австрийских Альпах.

§ 6. Скандинавские страны

Возведение бетонных плотин в северных скандинавских странах сопряжено с рядом добавочных трудностей, вызываемых климатическими особенностями этих стран, а также зачастую воздействием на бетон минерализованных вод. При этом необходимо отметить, что действие второго из приведенных 2 факторов в значительной степени усиливается при наличии первого из них. Эти факторы при своем совместном воздействии вызвали ряд повреждений в бетоне некоторых сооружений (преимущественно норвежских). Указанные повреждения послужили предметом тщательных исследований и изучения со стороны ряда выдающихся специалистов Скандинавии, в результате чего были подробно освещены свойства и качества применявшихся в этих сооружениях бетонов и сделаны выводы о необходимых свойствах гидротехнических бетонов вообще. Поэтому, наряду с кратким описанием некоторых скандинавских сооружений этого типа.¹⁾ следует подробно остановиться на результатах этих исследований.

Из сооружений Швеции этой типа укажу на постройку дамб на силовом канале Трольхэтан (1910 г.) и плотину Порьюс (1914 г.). Трольхэтанские бетонные дамбы²⁾ выполнены из бетона состава 1 : 3 : 5 на высоту первого метра и составом 1 : 5 : 7 — выше. При обоих составах в бетон укладывался изюм (весом 50—100 кг). На напорной стороне в температурных швах укладывался 15 см слой жирного бетона 1 : 2 : 2½ и, кроме того, на высоту 3,45 м от основания поверх жирного бетона наносился слой штукатурки, гладко зажелезненный. Температурные швы

¹⁾ Erik Up mar k, Hydro-Electric Development in Sweden-Stoekholm, 1933.

²⁾ А. Лю д и н. Гидроэлектростроительство Скандинавии, 1934.

расположены через каждые 10 м; они снабжены пазом и гребнем и уплотнены асфальтированным войлоком и просмоленной веревкой.

Плотина Порьюс высотой 15,5 м, построена по образцу Тролльхэтана. Главная масса состоит из трамбованного бетона 1 : 5 : 7 с изюмом. С напорной стороны уложен уплотняющий слой жирного бетона состава 1 : 2 : 2¹/₂, покрытый слоем раствора 1 : 2; после снятия опалубки поверхность покрыли асфальтовой краской. Верхняя, часть плотины облицована гранитным камнем; швы расположены через 10 м.

Из бетонных плотин Норвегии остановимся на 2 значительнейших, а именно на плотинах *Тунхёвд* и *Рингедаль*.

1. *Плотина Тунхёвд* выстроена в 1920 г. из трамбованного бетона состава 1 : 3 : 5 с облицовочным уплотняющим слоем из раствора 1 : 2¹/₄; временное сопротивление бетона на 28-й день равнялось 200 кг/см². Трамбование производилось пневматическими трамбовками по слоям толщиной в 25 см. Воздушная сторона облицована гранитом; высота, плотины 32 м. Данные о работе этой плотины и исследования имевших на ней место повреждений и разрушений мы находим у О. Reed'a (Civil Engineering, April, 1932) ¹⁾.

При зимнем понижении речного уровня подпертый горизонт у плотины понижается, примерно, на 20. Это понижение при одновременном понижении температуры наружного воздуха до 40° С приводит в результате к образованию мелких трещин в слое наружной облицовочной штукатурки, которая при этом частично лупится и отслаивается.

Под отстающими частями штукатурки обнаруживаются обыкновенно следы песка, темно-коричневые прожилы которого оказываются залегающими в бетоне на глубину до 40 см. Причина этих повреждений достаточно ясна: в насыщенном водой бетоне при действии мороза образовались в более слабых местах повреждения, которые уже открывают дальнейшую дорогу для воды, содержащей кислоту. При изучении этих повреждений особенно поучительные выводы можно сделать о роли и значении в этих явлениях трамбованного бетона. Разрушения всегда возникали в шве между двумя соседними слоями трамбования, причем непосредственно ниже указанного шва разрушения почти незаметны, тогда как выше его, в зоне, куда слабо проникают уплотняющие усилия при трамбовании вышележащего слоя разрушения значительны ²⁾. Чем толще слои трамбования, тем труднее становится уплотнение слоя и тем, следовательно, больше неоднородности бетона. Вследствие указанных обстоятельств трамбованный бетон следует считать *непригодным* для образования подпорных сооружений. Считаю необходимым подчеркнуть, что вопрос этот может получить другую трактовку *лишь при правильном* использовании проблемы вибрации и первибрации бетонов, но использовании ее именно как новой современной проблемы, а не как способа улучшения методики трамбованных бетонов.

2. *Плотина Рингедаль* — гравитационная плотина высотой до 36 напорная ее грань (уклон 20 : 1) выполнена из бутовой кладки на цемент-

¹⁾ F. Tolke, Zerstörungserseheinungen an Staumaucrn in Skaudinavien (Der Rauingenieur, As 47/48, 1932).

²⁾ А. Агatz в своем труде «Die rationelle Bewirtshaftung des Betons» (Berlin. 1927) замечает: „Какова польза от возможной высокой прочности трамбованного бетона когда на практике при этом вследствие бесчисленного количества швов между слоями трамбования имеет в результате решающее значение не прочность бетона в целом, а сила сцепления отдельных маленьких слоев. И она, в конечном итоге, примерно равна нулю“. С. В.

ном растворе, за которой находится сухая кладка и далее бетон состава 1 : 5 : 6. С низовой воздушной стороны имеется каменная облицовка (уклон грани 1,66 : 1). На этом сооружении наблюдалась все возрастающая фильтрация, сопровождавшаяся вымыванием (выщелачиванием) цемента и перешедшая в конце концов к весьма значительную течь. По данным

О. Reed'a утечка воды, начавшаяся в 1925 г. (через 7 лет после окончания постройки), привела к 1928 г. к колоссальной величине годовой потери до 10 000 000 м³. При этом сравнительными анализами воды из водохранилища и фильтрационной обнаружено за 1 год до 30 т вымытых твердых частиц. Разведочные контрольные бурения установили, что главной причиной возникновения фильтрации явилось отсутствие прочной связи между слоями бетона вследствие недостаточной тщательности, проявленной при укладке бетона. Плотина Рингедаль может, таким образом, служить живым примером и доказательством того положения, что при недостаточно тщательной укладке самая большая прочность бетона не спасет плотину от разрушения. Для исправления «логины Рингедаль предусмотрено устройство с верховен стороны защитного плотного 2 м слоя.

В дополнение к. оказанному об исследованиях, посвященных норвежским плотинам, необходимо упомянуть работы Бонде и Гренера,¹⁾ дающие полный обзор всех имевших место повреждений и намечающие мероприятия для получения водонепроницаемых и водостойких сооружений. Таковы вкратце: применение гидравлических добавок (в частности, сисшоффа), рациональный подбор состава инертных материалов и достаточное количество цемента на 1 м³ бетона, устройство рациональной конструкции уплотняющего слоя с напорной стороны (лучше всего в виде плотного слоя бетона) и т. п.

Из шведских исследований необходимо упомянуть работы Экваль (в частности, его доклад на Всемирной энергетической конференции в Барселоне — 1929 г.)²⁾. Экваль подчеркивает необходимость применения водоупорных бетонов. Для достижения этого он рекомендует более жирные смеси с применением чистого песка с преобладанием зерен меньше 0,5 мм и применение, наряду с прочими, и литых бетонов, каковые, по его мнению, в условиях строительной практики получают более водоупорными. Одновременно с этим Экваль подчеркивает, что выполнение всех изложенных требований приводит к бетонам высокой прочности, каковая не может быть использована в массивных бетонных сооружениях. Поэтому он высказывает мысль об экономичности пустотелых конструкций (типа Амбурсена) или многоарочных плотин.

Как пример хорошей работы таких плотин он приводит плотины Суорва (1923 г.), построенные для регулирования оз. Стора Лулеальв.

§ 7. Сводная таблица и выводы

В заключение настоящей главы будет уместно обобщить характеристику рассмотренных плотин (см. гл. II—IV) и сделать краткие выводы.

На основании табл. 16, представляющей сводку данных по 13 современным «логинам Западной Европы, можно прийти к. следующий выводам:

¹⁾ А. Людин. Гидроэлектростроительство Скандинавии, 1934.

²⁾ H g u s c h k a, Die Weltkraitkonferenz Sondertagung, Barcelona, 1929 (W. u. W., № 5, 1930).

Сводные данные по бетонным плотинам Западной Европы

№ по пор.	Страна и наименование плотины	Тип плотины и основные размеры	Общая кубатура бетона м ³	Характеристика бетона				Мероприятия для достижения водонепроницаемости сооружения	Способ производства работ и укладки бетона
				Содержание цемента кг/м ³	Гранулометрический состав и характер инертных	Консистенция	R на сжатие кг/см ²		
1	Италия								
1	Миньяно на р. Арда	Гравитационная в форме арки; $H_{\max}=51$ м, ширина у гребня=6 м	---	300	Щебня (до 45—50 мм)—0,65 м ³ . Песка—0,55 м ³ (воды 140—190 л)	---	---	а) Торкретирование верховой грани. б) Поверх торкрета—слой асфальта (патентованное средство). в) Цементация тела плотины	
2	Сувиана	Гравитационная в форме арки; $H_{\max}=89,5$ м; по гребню= =225 м	---	225—300	Крупного щебня 30—80 мм—40,6% по весу. Мелкого щебня 8—30 мм—30% по весу. Крупного песка 2—8 мм—9,4% по весу. Мелкого песка до 2 мм—20% по весу	---	$R_{28}=80—140$	С верховой стороны торкрет	
3	С.-Катерина	Гравитационная в форме арки; $H_{\max}=53$ м; по гребню= =185 м	85 500	400 у основания и 225 — в верхней части	---	---	$R_{28}=89$ и 118 при объемном весе 2,48—2,53 т/м ³	Цементация тела плотины	
4	Стуэтта	Гравитационная в форме	---	350 у основания и с	---	---	---	а) Цементация тела плотины	

5	Мальвауссия	<p>арки: $H_{\max} = 81,5 \text{ м}$ / по гребню = $= 200 \text{ м}$</p> <p>Аронная; $H_{\max} = 32 \text{ м}$; / по гребню = $= 140 \text{ м}$. Ширина: у гребня — 2 м в основании — $= 7,7 \text{ м}$</p>	—	<p>верховой стороны; 250 в остальной части</p> <p>350 у основания; — 300 в остальной части</p> <p>Песка 0—15 м.м — 0,45 м³. Гравия 15—60 м.м — 0,75 м³ (воды — 180 л)</p>	—	<p>$R_{59} = 175$; $R_{81} = 306$. Испытания производились на кубиках в 15 см, вырезанных из готового блока</p>	<p>б) Штукатурка верховой грани жирным цементным раствором в) Торкрет</p>	<p>Применение пер-вibrаторов</p>
II 1	Франция Марсж	<p>Аронная; $H_{\max} = 100,5 \text{ м}$; / по гребню = 198 м. Ширина: у гребня — 3 м в основ. — 19 м</p>	185 000	<p>275—300 в верхней части и вблизи швов; 250 в остальной части</p> <p>0—3 м.м; 3 10 м.м; 10—30 м.м; 30—120 м.м</p>	Пластичный	<p>$R_{28} = 240$</p>	<p>Цементация тела плотины</p>	<p>Подъемные башни с ленточными транспортерами, укладка слоями по 30 см (высота блока 5—6 слоев) с ручной проработкой и вибрированием вибратор, платформенного типа, иногда снабженными зубьями</p>
2	Сотэ	<p>Гравитационная, в форме арки; $H_{\max} = 126 \text{ м}$; / по гребню = 80 м. Ширина: у гребня — 3 м в основ. — 75 м</p>	103 000	<p>275— в верхней части напорной грани; 220—180 в остальной части</p> <p>0,2—2 м.м; 2—4 м.м; 4—10 м.м; 10—12 м.м; 25—50 м.м; 50—100 м.м</p>	—	<p>$R_{61} = 160—200$</p>	<p>а) Более жирный состав по верхней грани б) Непроницаемая штукатурка там же в) Цемент, скелы — в основании плотины и обух берегов</p>	<p>Кабельный край; укладка с частичным применением вибраторов</p>

№ по пор.	Страна и наименование плотины	Тип плотины и основные размеры	Общая кубатура бетона м ³	Характеристика бетона				Мероприятия для достижения водонепроницаемости сооружения	Способ производства работ и укладки бетона
				Содержание цемента кг/м ³	Гранулометрический состав и характер инертных	Консистенция	R на сжатие кг/см ²		
III 1	Австрия Вермунт	Гравитационная, прямолинейная в плане; $H_{\text{max}}=52,5$ м; l по гребню= $=384$ м	144 000	150—ядро; 225—низовая грань толщиной в 2 м; 300—верховая грань толщиной в 2 м	Песок—0—7 мм Гравий—7—80 мм	Земельно-влажный, трамбованный в ядре и пластичный в остальных частях	На 28 день: $R_1=163$ $R_2=242$ $R_3=273$	а) Армированный торкрет б) Смазка инертным	Ленточные транспортеры и подъемники; трамбование вручную
2	Пак	Гравитационная, в форме арки; $H_{\text{max}}=33,2$ м; l по гребню= $=183$ м	—	180—200	Мелкий песок—0—4 мм=0,5 м ³ Крупный песок—4—14 мм=0,32 м ³ Мелкий щебень—14—52 мм=0,41 м ³ Крупный щебень—52—80 мм=0,33 м ³ (воды 180 л)	Пласт.	$R_{28}=100$; при объеме 2,46 м ³	а) С верхней стороны штукатурка по проволоочной заанкеро-ванной сетке. б) Гладкая затирка. в) Раз в несколько лет покрытие водонепроницаемым патентованным составом (Siderosten Lubrose). г) Цементация тела плотины и скалы основания	Укладка бетона лесов по трубам и трамбование
IV 1	Германия Блейлох	Гравитационная;	182 000	В качестве вяжущего	Инертные материалы искусствен-	Литой	—	—	Мост для подачи инертных и бе-

		$H_{\max}=65 \text{ м};$ l по гребню= $=210 \text{ м}$ Ширина: у гребня—6,7 м у основ.—46 м		применя- лась смесь портланд- цемента с основ. гра- нулирован- ным домен- ным шлаком в пропорции 1:2	ного изготовле- ния: 0—7 мм= $=41,7\%$ по весу; 7—30 мм= $35,2\%$; 30—60 мм= $23,1\%$ по весу				тона на бетон- ных опорах, ос- таваемых в те- леплотинны; бун- кера и желоба
2	Цшопау	Гравитацион- ная, в форме арки; $H_{\max}=28,25 \text{ м}$ l по гребню= $=235 \text{ м}$	82 000	200 (180) портланд- цемента + + 75 (65) трасса		Литой	--	а) Торкрет с вер- ховой стороны толщиной в 2,5 см с уплотняю- щей затиркой б) Тройная обмаз- ка с треолитом	—
V	Швейцария Гримзель	Гравитацион- ная, в форме арки; $H_{\max}=114 \text{ м};$ l по гребню= $=258 \text{ м}$ Ширина: у гребня—4 м, у основания 60 м.	340 000	190 (вдоль верховой грани—300)	—	Пласт.	---	а) Жирный состав бетона по вер- ховой грани— 300 кг/м^3 б) Гранитная об- лицовка	Кабельный кран с ковшами емко- стью в $3,2 \text{ м}^3$, либо с подвес- ными лотками
VI	Чехо-Слова- кия Фрайн	Гравитационн. $H_{\max}=55 \text{ м}$	172 000	—	Инертные мате- риалы искус- ственного изгото- вления; мелк. пе- сок—0—2 мм; кр. песок—2—7 мм; м. щебень—7—25 мм; кр. щебень—25— —70 мм	Литой	—	—	Кабельный кран с подвесными же- лобами

1. В отношении типа следует отметить преобладание гравитационных плотин, нередко достигающих значительной высот (Гримзель — 114 м; Сотэ — 126 м; Сувиана — 90 м и т. д.). Вследствие, однако, незначительной в среднем длины их (Сотэ — 80 м, Мареж — 200 м; Мальчауссия — 140 м; Блейлох — 210 м; Гримзель — 258 м) кубатуры означенных плотин обычно не превышают примерно 200 000 м³ и лишь в единичных случаях превосходят этот предел (плотина Гримзель — 340 000 м³)¹).

2. В отношении консистенции применяемых бетонов необходимо отметить, наряду с пластичными, и случаи применения литых бетонов (плотины Влейлох, Цнюпау, Фрайн) и даже земельно-влажных, трамбованных (Вермунт).

3. В отношении составов бетона и дозировок цемента — следует подчеркнуть, что нередко (особенно в Италии и во Франции) практикуется укладка в различные части тела плотины различных по содержанию цемента бетонов.

Нередки случаи, когда в тело плотины укладываются 3—4 различных по составу бетона: у основания, с верховой стороны и вблизи температурных швов (плотины Мареж, Стутта и др.), в верхнем части и т. д. Кроме этого, устраивается изоляция верховой грани.

Нами уже отмечались производственные трудности, неудобство и неэкономичность такого способа и высказывались предположения, что при этом возможно ухудшатся и условия усадки и непроницаемости сооружения.

Все это заставляет в наших советских условиях рекомендовать применение *единообразных по составу бетонов для основного тела плотины*²).

4. В отношении сорта применяемого вяжущего можно констатировать преобладание портланд-цемента. Однако нередки случаи и *применения добавок* (преимущественно в Германии) в виде гасса и доменного шлака. Расход цемента для пластичных бетонов начинается от 180—200 кг/м³ (плотины Гримзель, Иак, Сотэ) и достигает 300—350 кг/м³ (плотины Мареж, Миньяно и др.).

5. Необходимо отметить большое разнообразие мероприятий для достижения водонепроницаемости верховой грани — таковы, наряду с более жирным слоем бетона, еще штукатурка с затиркой и торкрет (нередко и то и другое по металлической сетке), предохранительные обмазки патентованными составами и пр. Весьма распространено применение цементации бетона и основания.

В наших советских условиях следует с большой осторожностью подходить к вопросу о способе устройства изоляции напорной грани, так как перечисленные способы обходятся дорого и не всегда достигают цели.

6. В отношении гранулометрического состава, необходимо подчеркнуть преобладающее применение фракционированных инертных с числом фракций, достигающим 4 и даже 6, с фракционированием при этом песка (см. табл. 16) до 3 отдельных сортов (плотина. Сотэ — 0,2 — 2 мм. 2 — 4 мм и 4—10 мм).

7. В отношении способов производства, работ по укладке пластичных бетонов отдается предпочтение кабельному крану с бадьями или желобами (Гримзель, Сотэ) и ленточным транспортерам (Мареж).

¹) Что составляет, примерно, 1/2 кубатуры Днепровской плотины, имеющей, как известно, в длину около 760 м.

²) Это не исключает устройства изоляции верховой грани, об этом см. ниже.

Нередки случаи применения вибрации и первивибрации (плотины Марез, Сотэ).

8. Отмечается получение высоких значений объемного веса бетона:

плотина С.-Катернна (Италия).....2,48—2,33 t/m^3 ,
плотина Пак (Австрия).....2,46 t/m^3

Глава III

ВОПРОСЫ ЭКОНОМИКИ И ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

§ 1. Требования экономичности в отношении массового бетона

Прежде чем перейти к окончательным выводам по настоящей работе, мы считаем необходимым вкратце коснуться вопроса экономичности в применении к бетонным сооружениям указанной группы и тех конкретных требований в отношении технологии бетона и производственных мероприятий, которые из него вытекают. Мы уже видели, как требования экономичности влияют на производство и организацию работ, и какие методы и мероприятия в результате этого возникают. Таковы например: способ бетонирования высоких плотин помощью кабельных кранов с передачей бетона ковшами большой емкости, организация вспомогательных сооружений — бетонных заводов, внутривозвездного транспорта и пр. для увеличения производительности и ускорения производства работ и мн. др. Рассмотрим теперь влияние этого фактора (требований экономичности) на технологию бетона, в частности на его состав.

Требования экономичности в этом отношении приобретают для массового бетона особую важность и актуальность и выражаются в современной строительной практике стремлением: 1) к возможному уменьшению содержания цемента на 1 m^3 готового бетона, 2) к возможному увеличению наибольшего размера крупных инертных добавок и 3) связанному с этим ограничению процентного содержания песка. Все эти условия, ограниченные обычно требованием удобообработываемости бетона, получают широкие пределы при применении вибрации, позволявшей, как известно, оперировать с сухими и мало-податливыми смесями.

Осуществимость вышеуказанных трех требований в отношении массового бетона основывается на следующих положениях:

1. Прочность массового бетона для своего осуществления не требует высоких значений временного сопротивления на сжатие.

2. Главными и основными свойствами такого бетона являются плотность и водонепроницаемость (морозостойкость), которые ограничивают определенными пределами значения водоцементного отношения и содержания в бетоне цементного теста — наиболее водонепроницаемой части бетона.

3. Весьма важным свойством массивных бетонных сооружений (особенно плотин) является объемный вес.

Указанный вопрос нашел себе отражение в многочисленных исследованиях п опыта ряда авторов, из которых отметим Спрэгга¹⁾ и Кессельгейма²⁾.

¹⁾ John Sprague. Effect of Amount of Fine Aggregate on Quality of Concrete (Concrete., №10. 1034).

²⁾ W. Kesselheim, Wege zur Verbilligung und Verbesserung des Betons beim Talsperrenbau (Der Bauingenieur. № 11/12, 1935).

Спрэг указывает, что в бетонах с избытком раствора заключается больше мелкого агрегата, чем это нужно для заполнения пустот крупного, благодаря чему крупные частицы излишне раздвинуты. В этом случае, как показал проф. Тальбот, крепость бетона определяется крепостью раствора. Надлежаще-запроектированный, наиболее экономичный бетон содержит раствора как раз столько, сколько нужно, чтобы связать крупные инертные в плотную однородную массу с небольшим избытком, действующим как смазка. При заданном водоцементном отношении содержание мелкого агрегата не должно превышать того, который обеспечивает достаточную удобообрабатываемость. В этом направлении были проделаны следующие 2 серии опытов.

1-я серия — наибольшая крупность зерен гравия достигала 5 см: процент неока (по отношению ко всему объему инертных) менялся от 29 до 40; спływ поддерживался постоянным в 7,6 см, а водоцементный фактор изменял свое значение;

2-я серия — наибольшая крупность гравия 1,3 см; процент песка менялся от 28 до 35; водоцементное отношение поддерживалось постоянным, а спływ получал переменные значения. Результаты опытов показали, что объемный вес (весьма важное свойство для массового бетона) уменьшается с увеличением процентного содержания песка. Для 1-й серии опытов наибольший объемный вес в 2,44 т/м³ получается при 29% песка, уменьшаясь до 2,34 т/м³ при увеличении песка до 40%. Это уменьшение веса сопровождается и зависит от: 1) увеличения водоцементного отношения и 2) увеличения объема. При этом вместе с увеличением объемного веса увеличивается и плотность.

Для указанных условий получилось, что для 1-й серии оптимальная смесь имела место при 31% песка и что более низкий процент его хотя и давал более тяжелый и более плотный бетон, но он не обеспечивал условия удобообрабатываемости. Для 2-й серии (при мелком гравии) наилучшие результаты получились при 34% песка; более низкий процент его дает явно недонасыщенные песком смеси, а более высокий процент песка даст большую пластичность, чем требовалось. При этом удобообрабатываемость бетона определялась 2 факторами: 1) подвижностью (mobility) и 2) текучестью (flowability). Последнее свойство определялось осадкой конуса; что же касается первого фактора — подвижности, то его измеряли, помещая доску на бетонный конус, после удаления металлической формы и производя на него давление пока он не сплющивался. При этом смеси с недостатком песка показывали расслаивание; по мере увеличения содержания песка (и уменьшения содержания гравия), связность смеси увеличивалась. На основании своей работы Спрэг приходит к выводу, что свойства, бетона очень чувствительны к изменению количества мелкого агрегата, и чем дальше мы отступаем от оптимальных пропорций, тем менее экономичным становится бетон. Однако при обычных методах работы невозможно, по условиям удобообрабатываемости, употреблять то отношение мелкого материала к крупному, которое дает самый плотный, самый тяжелый, самый прочный и самый долговечный бетон. Поэтому при этих условиях понятие «оптимальная смесь» следует понимать несколько ограниченно.

Кессельгейм видит путь к наибольшей экономичности и доброкачественности бетона в возможном увеличении максимального размера зерен. Однако и здесь необходимо избегать предельных значений.

По вопросу о потребном содержании раствора в бетоне существуют в литературе различные мнения. О. Граф считает, что для бетона (с пре-

дельным максимальным размером зерен от 25 до 45 мм) на гравии необходимо 40—45% раствора, а на щебне применением речного песка — 50%. Содержание песка по Pflutschlenger'у:

при $d_{\max} = 25 \text{ мм} - 45$ весовых частей песка
 " " = 50 " — 40 " " "
 " " = 70 " — 37 " " "

В бетонной массе, самым, водопроницаемым компонентом является, бесспорно, цементное тесто (цементный камень). Стремясь к максимальным размерам зерен крупной камневидной составляющей, мы тем самым уменьшаем содержание раствора, а следовательно, и цементного теста: иными словами мы увеличиваем водонепроницаемость. Сравнительные данные в этом отношении по крупнейшим плотинам дает нижеследующая табл. 17.

Таблица 17

№ п/п	Наименование плотины	Сорт инертных	Консистенция	Максимальная велич. зерен в м.м.	Содержан. раствора (0—5 м.м) в %
1	Блейлох	Дробленый щебень	Литой	70	44
2	Шварценбах	"	"	60	46,5
3	Чиньяна	Галька "	"	50(70)	44
4	Шрее (Вэггиталь)	Дробленый щебень	"	80	36
5	Шамбон	"	"	100	38
6	Дайабло	Галька "	Пластичный	100	37
7	Эсла	Дробленый щебень	"	110	33,5
8	Оуахи	Галька	"	115	33
9	Сарранс	Дробленый щебень	Литой	120	32
10	Гримзель	Галька	Пластичный	120	32
11	Дон-Педро	"	Литой	150	28,5
12	Парди	"	"	150	30
13	Шютоф Кэрон	Речной песок и щебень	Слабо пластичный	150	40
14	Буль-Ран	Речной гравий	Сильно пластичный полулитой	175	28,5
15	Баульдер	Галька	Пластичный	225	28

Таким образом установление максимального размера зерен — первая и важнейшая задача; этим уже определяется и количество раствора. Далее внимание должно быть обращено уже на качество самого раствора.

§ 2. Заключительные выводы

В изложенной части очерка, посвященной наиболее характерной и важной категории гидротехнических бетонов, а именно бетонным массивам, в частности плотинам, мы рассмотрели главные вопросы, характеризующие указанные бетоны, разобрав и описав при этом примерно 30 новейших плотин как уже выстроенных, так и находящихся еще в постройке.

На основании всего вышеизложенного, мы считаем необходимым сделать следующие выводы.

1. Исследуя и подводя итоги развитию практики бетона и железобетона

бетона за последнее десятилетие во всем мире, нетрудно убедиться, что в начале этого периода основным еще критерием для суждения о производственной доброкачественности этих материалов являлась, в большинстве случаев, их *прочность*. Разработанная незадолго до этого теория проф. Абрамса послужила толчком к развитию научной методики, контроля бетона и проектирования состава его заданной прочности, получившей широкое распространение у нас в Союзе благодаря работам проф. Н. М. Беляева.

Постепенно, наряду с грандиозным развитием гидростроительства, стали выявляться и несомненная особенность гидротехнических бетонов, и те специальные свойства и качества, которыми они должны обладать для обеспечения безопасности и нормальной работы сооружения. Основными из этих свойств явились плотность и водонепроницаемость бетона, очень быстро ставшие для гидротехнических бетонов главнейшим и важнейшим критерием. Таково было положение 5—6 лет тому назад: необходимо констатировать к этому времени сильнейший интерес в исследовательских и производственных кругах к вопросам водонепроницаемости и плотности бетона. Вопрос «плотность или прочность» во многих странах (как например, в Германии) усиленно дебатировался в технической печати, и целый ряд работ (проф. Атацц, К. Вальд и др.) решительно повернули строительную практику от трамбованного бетона к пластичному. Каково положение на сегодняшний день?

В интересующей нас области бетонных массивов можно, с уверенностью сказать, что на сегодняшний день мировая практика безусловно овладела техникой водонепроницаемых и плотных бетонов; сейчас повсюду умеют получать *водонепроницаемый бетон*, вопрос стоит в получении *водонепроницаемых сооружений*. Иными словами, центром внимания или основным подлежащим изучению свойством массивных бетонов *сейчас* является их способность под влиянием тех или иных причин претерпевать изменения в объеме, или так называемая *усадка бетона*, вызывающая появление трещин благодаря которым самый водонепроницаемый бетон начинает фильтровать и становится недолговечным. Современная практика постройки бетонных плотин быстрыми шагами движется в сторону строительства высоких плотин, как типу плотин экономически-выгодному (плотины: Буальдер, Дайабло и Норрис — в США. Сотэ — во Франции, Сувиана, Карденелло, Карезер и Чиньяна — в Италии. Гримзель — в Швейцарии, Блейлох — в Германии — и т. д.). Большая высота и связанная с нею значительная кубатура делают невозможным игнорирование процессов, вызывающих изменения объема бетона, и выдвигают вопросы *усадки* бетона на первый план.

2. Мероприятия по борьбе с усадкой бетона; в зависимости от двух главнейших причин ее возникновения сводятся к двум категориям: а) борьба против высыхания бетона и б) борьба с образованием тепла при схватывании и твердении его. Первая категория предусматривает меры по уходу за бетоном и по защите его от действия солнечных лучей; таковы поливка (в частности дождевание), применение всевозможных влажных покрытий (см. выше опыты Маркотт'а) и соответствующая рациональная организация работ. Последнее особенно важно в местностях с жарким и сухим климатом (см. стр. 57 — описание организации работ на плотине Луэд-Фодда в Алжире — рис. 70). При этом необходимо (как и в вопросах приготовления и укладки бетона — см. ниже) добиваться полной *однородности* и соответствия применяемого режима с установленной инструкцией.

Борьба с причинами второй категории прежде всего сводится к применению цементов с пониженной экзотермией. Таковы специальные цементы с малым теплообразованием ¹⁾ по тину американских low-heat цементов (о подробных исследованиях их и сравнительных опытах над ними, произведенных Иригационным бюро в Денвере в лице инж. Сэвэджа, Б. В. Стиля и Блаэнкс'а — см. выше). Наряду с этими цементами, являющимися пока для наших условий совершенно новыми и требующими времени для их освоения, мы считаем нужным решительно подчеркнуть категорическую необходимость перейти при бетонировании плотин на пуццолановые цементы.

Необходимость применять в гидротехническом строительстве пуццолановые портланд-цементы у нас в Союзе уже неоднократно отмечалась научными учреждениями и технической общественностью; так, в 1933 г. это было отмечено секцией гидротехники Всесоюзной академии наук, а в 1934 г. — имевшей место в Москве конференцией по пуццолановым портланд-цементам ²⁾. Как показывают опыты проф. Дэвис'а, Келли и Трокселля (см. доклад в Американском институте бетонов, февраль 1935 г.), проделанные в лаборатории Калифорнийского университета, установлена способность этих цементов (по сравнению с портланд-цементами) выделять тепло

в меньшем количестве и быстрее его отдавать (см. стр. 54). Этот результат мы считаем заслуживающим большого внимания, потому что при наличии этой способности пуццолановые портланд-цементы приобретают особую ценность при бетонировании массивов, так как, помимо проблемы водостойкости бетона, они частично способствуют разрешению еще и проблемы усадки. В наших советских условиях надо добиваться расширения производства пуццолановых портланд-цементов. каковое до сего времени далеко не в состоянии еще удовлетворить все многочисленные запросы.

3. Одновременно с понижением экзотермии цемента, необходимо принимать также меры и к охлаждению бетона. В этом отношении прежде

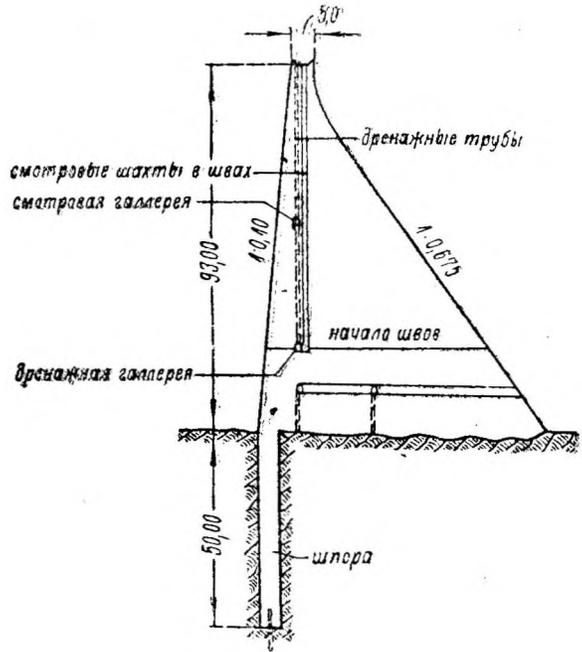


Рис. 70. Плотина Луэд-Фодда — поперечный разрез.

¹⁾ У нас в Союзе вопрос о подобных цементах впервые поднят проф. В. А. К н и д о м и проф. В. Н. Ю н г о м .

В частности, соответствующие опыты намечаются в Научно-исследовательском институте гидротехники в Ленинграде.

²⁾ См. В. А. Кинд и С. Д. Окороков, Строительные материалы.

всю необходимо добиваться путем предварительных расчетов охлаждения бетона с учетом природы инертных соответствующих значений теплопроводности и диффузионной постоянной данного бетона для облегчения отдачи тепла. Здесь важно отметить, что природа агрегата при этом играет очень большую роль¹⁾. При значительных объемах подлежащего укладке бетона может оказаться выгодным применение охлаждения бетонных массивов циркуляцией воды по трубам, по типу некоторых американских плотин. Как мы уже видели, на плотине Баульдер была применена двухступенчатая система охлаждения: сначала речной водой (с естественной температурой примерно 18° С) без охлаждения, а затем уже искусственно-охлажденной водой с температурой 4—5° С. Возможно, что при меньших объемах работ будет достаточно обойтись охлаждением одной лишь речной водой.

В целом ряде случаев, наконец, когда устройство охлаждающей сети встретит те или иные затруднения, можно будет ограничиться охлаждающим действием воздуха при незаделанных промежутках в швах. Способ этот, хотя и несовершенный (так как охлаждение при этом поверхностное, не достигающее сплошь и рядом до ядра), тем не менее нашел себе применение в целом ряде современных плотин, правда, главным образом в арочных, относительно небольшие поперечные размеры которых позволяют размеры бетонизируемых блоков устанавливать во всю ширину тела плотины и обходиться одними лишь поперечными радиальными швами. В качестве примера укажем: 1) *плотину Марез* (Франция), где оставались вертикальные швы шириной в 1—1,5 м с закрытием их (литым бетоном) лишь после окончательного охлаждения бетона; 2) *плотину Сотэ* (Франция) с вертикальными швами шириной в 50 см, заделанными через 4—5 месяцев; 3) *плотину Гримзель* (Швейцария); 4) *плотину Вотервиль* (США), где оставались незаделанные промежутки в 2,5 м, закрывавшиеся спустя 6 месяцев и др.

4. Помимо приведенных мероприятий по борьбе с усадочными явлениями путем применения специальных цементов (для уменьшения теплообразования при схватывании) и различных способов охлаждения бетона, примененных при постройке некоторых высоких плотин с большой кубатурой бетона, необходимо указать, что все же основным и всюду принятым мероприятием в этом отношении является устройство температурных швов. Современная строительная практика стремится к возможному уменьшению расстояния между швами. Это последнее достигается: в плотине Марез (Франция) — 13 м, в плотине Буль-Раи (США) — 12 м, Баульдер (США) — 15,2 м, Чубук (Турция) — 12—14 м, Гримзель (Швейцария) — 12—15 м и т. д. (см. табл. 2, стр. 8). Весьма надежным способом устранения укорочения от усадки является цементация швов, имеющая довольно широкое распространение (особенно в США). Осуществление указанного способа достигается, главным образом, помощью системы труб, закладываемых в бетон; из них вертикальные трубы закладываются в швы через 1½ — 2 м. Очертание шва в плане обычно имеет форму штрабы. Конструкция температурных швов, преследующая цели наибольшей водонепроницаемости, в общем довольно разнообразна (см. рис. 15, 43, 61, 67, 71, 72 и 73), но по существу сводится к следующим элементам:

¹⁾ Ф. Губин (Гидроэлектростроительство США) приводит данные об изменении теплопроводности при изменении агрегатов: так, теплопроводность бетонов при применении кварцитов в 1,66 раза больше, чем при применении базальта.

а) На некотором расстоянии от напорной грани устанавливается медная диафрагма, заделываемая в оба соприкасающиеся блока, с волной, приходящейся в плоскости шва. Опыт строительства бетонных плотин в США показывает, что означенные диафрагмы ставятся нередко как, в вертикальных, так и в горизонтальных швах. В качестве примера можно привести арочную плотину Вотервиль (ИВА), где в вертикальных швах ставились 30,5 см медные полосы, а в горизонтальных — железные полосы шириной в 15 см.

б) Далее следует вертикальная шпонка, обычно четырехугольная, размером 15—20 см в стороне, заполненная битумом или асфальтом, резе — глиной. Ври заполнении битумом или асфальтом в означенную шпонку закладывается и паровая труба для уплотнения при подогревании указанного заполнения. Весьма часто медная волна помещается в указанной шпонке. Описанная шпонка в ряде плотин устраивается, непосредственно у наружной грани и в этих случаях часто делается из железобетона. Так, на плотине Вермонт (Австрия) мы имеем железобетонную шпонку многогранной формы шириной 80—90 см (см. рис. 61); на итальянских плотинах (например, на плотине, Виньяна — см. рис. 43) встречается характерная но внешнему виду железобетонная плита («пробка») толщиной 10—15 см. Указанная «пробка» часто покрывается с фасада толькой, а с внутренней стороны изолируется толем и пр.

в) Для наблюдения и контроля в температурных швах устраиваются смотровые колодцы размером 0,8 X 0,8 или 1,0 x 1,0 м.

В порядке описания отметим еще один способ борьбы с усадочными трещинами, — облегченное армирование (с незначительным процентом железа). Способ этот, не слишком актуальный у нас в Союзе при дефицитности железа, был применен на плотине Гримзель (Швейцария).

5. Всеми перечисленными в пп. 2—4 мероприятиями осуществляется, борьба с усадкой бетона, вызывающей появление трещин, а следовательно, достигается водонепроницаемость сооружения. Не касаясь пока необходимых свойств и природы самого бетона для бетонных плотин (об этом — см. ниже), необходимо в этом пункте отметить еще всю важность вопроса *перерывов в бетоне*, которые были и продолжают оставаться самыми проницаемыми местами в сооружении.

Представляя себе бетонировку бетонных массивов как укладку ряда, блоков, ограниченных со всех сторон либо опалубкой, либо бетонными стенками уже уложенных блоков, мы встречаемся с двумя группами перерывов: *горизонтальными* и *вертикальными*. Многочисленные опыты разных строек и разных стран доказывают, что достижение плотного соединения в горизонтальных перерывах труднее, чем в вертикальных. Как вывод отсюда следует желание укладывать бетонные массивы слоями *возможно большей, высоты* и тем самым уменьшить число горизонтальных стыков. Заграничная практика дает нам уже примеры бетонировки:

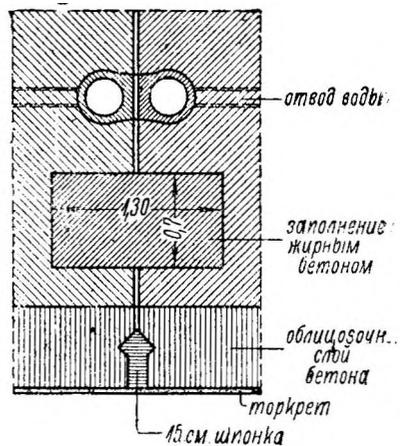


Рис. 71. Конструкция температурного шва бетонного ядра плотины Зорпе.

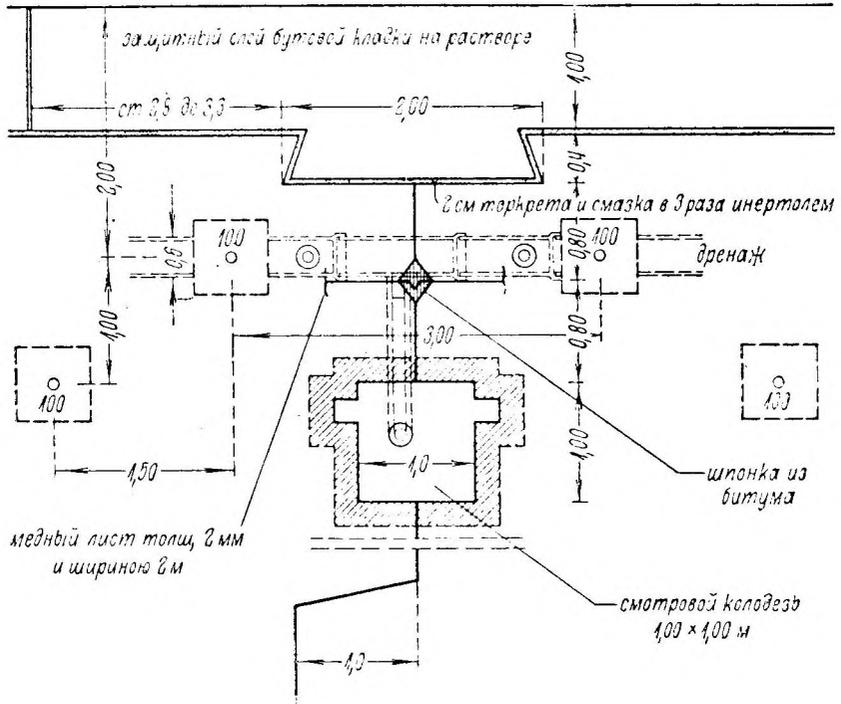


Рис. 72. Конструкция температурного шва плотины Вейсеритц.

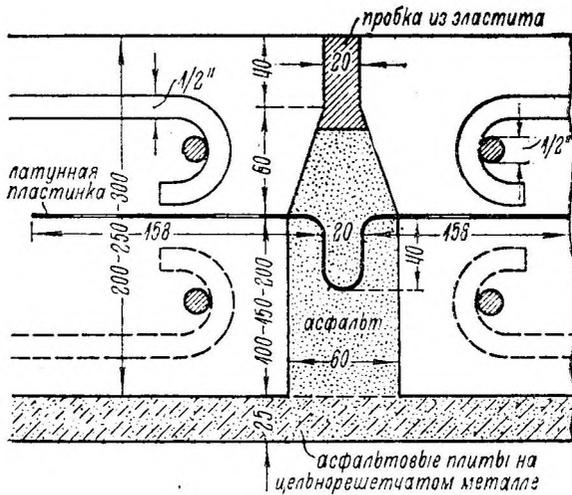


Рис. 73. Конструкция температурного шва железобетонной одежды верховой грани на плотине Тепук-Тепек.

слоями высотой в 3—4 м¹⁾, возможно что по этому пути можно идти еще дальше.

Способы обработки поверхности старого «бетона сводятся либо к обработке струей воды и сжатого воздуха еще свежего бетона и «сдирание», таким образом, поверхностного слоя, либо же к насечке и срубке его при более твердом бетоне. Весьма полезна проливка старой насеченной и вычищенной поверхности цементным молоком перед самым началом бетонирования, а в некоторых случаях — укладка первых замесов из «процеженного» бетона с удалением самых крупных фракций камневидной составляющей.

В заключение необходимо указать и подчеркнуть актуальность еще одного мероприятия для обеспечения водонепроницаемости сооружения, а именно цементации, широко применяемой при постройке бетонных плотин (Италия, США и др.). Цементации подлежат: а) основание под сооружением, нередко в виде лишь «верховой диафрагмы» по плоскости напорной грани, врезающейся в берега, и б) бетонное тело плотины. Техника этого дела достаточно разработана и обеспечивает несомненный эффект (например, плотина Миньяно Валь Д'арда — Италия), доводя сооружение (с учетом влияния и кольматации и самоуплотнения) до *практически-непроницаемого* состояния.

6. Перейдем теперь к установлению тех требований, которым должен отвечать бетон рассматриваемого типа сооружений (массивов). Бетон в этом случае является материалом, составляющим те отдельные блоки, из которых по современной интерпретации крупных бетонных массивов, как из гигантской каменной кладки, создаются сооружения. Бетон в современных бетонных плотинах представляет собой значительные кубатуры. приготовление, укладка и транспорт которых выражаются в весьма значительных цифрах стоимости. Незначительные напряжения на сжатие, имеющие место в бетонных массивах, ставят по отношению к ним на первое место требования долговечности, главную угрозу которой создает проникновение воды сквозь бетонную массу при одновременном воздействии атмосферных факторов. Большая ответственность и важность функций, выполняемых указанными плотинами (силовые установки, ирригация, водоснабжение и т. д.). требует безусловной гарантии в полном соответствии всех свойств и качеств уложенного бетона с за-проектированными техническими условиями.

В зависимости от вышеизложенного — методика подбора состава таких бетонов и организация работ должны исходить из следующих условий и основных свойств бетона:

- а) экономичности его;
- б) наибольшей водонепроницаемости и
- в) полной однородности его приготовления, укладки и ухода за ним.

Как уже указывалось, требования экономичности в отношении состава бетона выражаются в современной строительной практике (бетонных массивов стремлением к возможному уменьшению содержания цемента на 1 м³ готового бетона. На практике это равносильно уменьшению количества раствора и песка, что, в свою очередь, ведет к увеличению предельной крупности зерен камневидной составляющей. Все эти положения, естественно, надо понимать лишь в пределах, установл-

¹⁾ R. Martin, Le beton et la construction des grands barrages (An. des Fonts et Chaussées, t. I. f IV, 1935).

ваемых требованиями удобообрабатываемости и однородности, бетонной массы.

При этом необходимо стремиться к подучению максимально-возможных значений объемного веса, являющегося весьма важным свойством для бетонных гравитационных плотин.

Здесь уместно отметить, что вследствие разницы сравнительной стоимости цемента и рабсилы а США и в европейских странах ¹⁾ экономия в цементе несколько различно претворяется в жизнь. В Германии или Австрии, например, экономия в цементе приводит к весьма ограниченной дозировке его (например плотина Вермунт, где расход цемента для основного бетонного ядра плотины был всего 150 кг/м^3) и к применению земельно-влажных, трамбованных бетонов (там же). В США дозировка цемента на бетонных плотинах не опускается ниже $0,05\text{—}1,0$ бочки цемент на 1 куб. ярд бетона (т. е. $214\text{—}22\text{Й} \text{ кг/м}^3$); при этом трамбованные вручную бетоны не применяются. Примером может служить плотина Пэйн-Кэпион в Калифорнии (см. выше описание), где при расходе цемента в 210 кг/м^3 применялся малопластичный (сухой) бетон, укладываемый при помощи электровибраторов. Из этого- примера можно заключить, что там, где относительно дешева рабочая сила, выгоднее трамбовать сравнительно тощие бетоны, там где рабочая сила стоит сравнительно дорого (США)—трамбование невыгодно и, поэтому, не снижая настолько дозировки цемента и не выходя да пределов пластичных консистенций, экономии стараются достигнуть другими мероприятиями, преимущественно организационного характера: совершенной механизацией, в частности применением вибрации, темпами работ и пр.

Приведем данные по достигнутой производительности на различных строительствах:

плотина Дайабло.....	1165	м ³ бетона в сутки,
плотина Мареж	1000	„ „ „
плотина Блейлох.....	1545	„ „ „
плотина Норрис.....	2100	„ „ „
гидроустановка Баульдер	5000	„ (5 кабельными кранами)

и т. д.

Путь нашего советского строительства в это-м направлении лежит прежде всего к овладению новой современной строительной техникой, на базе которой, как показывает опыт широко развивающегося у нас стахановского движения, возможно значительное повышение производительности труда и превышение существующих норм выработки.

Оптимальные производственные количества песка, в процентах от общего количества инертных составляют по Спрэгу от 34 до 31% (при наибольшей крупности гравия в $1,3 \text{ см}$ и в 5 см). Опыт американских плотин дает плотина Баульдер—25,8% песка по весу при, D_{\max} — $22,8 \text{ см}$, плотина Пейн-Кэннон — 26,6% по весу при D_{\max} — 15 см , плотина Дайабло — 32,2% по весу при — 10 см и т. д.

Сравнительные данные о процентном содержании раствора в крупнейших плотинах представлены в табл. 17 (см. стр. 107). Что же касается экономичности увеличения предельной крупности инертных, что непосредственно вытекает -из разобранных положений, то для расмотри-

¹⁾ По данным Вг. Widmann'a стоимость 100 кг цемента в Европе соответствует примерно стоимости $5\text{—}7$ рабочих часов, тогда как в США всего лишь $1\text{—}2$ рабочих часов.

ваемой нами категории гидротехнических бетонов это требование целиком совпадает и с условием водонепроницаемости бетонов.

Физически это находит себе объяснение в том, что наиболее проницаемой составной частью бетона является цементный камень; увеличивая предельную крупность камневидной составляющей и тем самым уменьшая содержание цементного раствора, а следовательно, и цемента, мы содействуем увеличению *водонепроницаемости*.

Стремясь к возможному увеличению предельной крупности инертных, как к условию, удовлетворяющему требованиям: и экономичности и водонепроницаемости, необходимо при этом иметь в виду инертные материалы, пропускаемые через бетономешалку, а не так называемый «изюм», т. е. отдельные крупные камни, помещаемые непосредственно в укладываемый бетон.

Это мероприятие находило себе применение еще в недавнее время на многих строительствах многих стран. В настоящее время на основании многочисленных опытов и отзывов следует признать, что «изюм» себя не оправдал ни со стороны экономической, так как заготовка, собиранье и транспортирование его обходятся весьма дорого, не обеспечивая в то же время необходимого количества «изюма» соответственно темпам бетонирования, ни со стороны производственной, так как применение «изюма» сплошь и рядом нарушает однородность бетонной массы. Подробные исследования по этому вопросу были проделаны в США при постройке плотины Баульдер, во Франции — при постройке плотины Марезе в Италии — на плотине Чиньяна.

Предельной крупностью камневидной составляющей, пропускаемой через бетономешалку, следует считать применение на плотине Баульдер в первый период постройки — фракции 22,9 см; однако это встретило ряд затруднений, вследствие чего предельной крупностью инертных была установлена величина 15 см.

В отношении факторов, влияющих на плотный гранулометрический состав инертных материалов (весьма важное условие для водонепроницаемости), следует отметить широкое применение фракционированных инертных на всех крупнейших стройках, что видно из приводимой табл. 18 и, в частности, применение песка, составленного из 2—3 фракций. Кроме этого, весьма желательно применение пылевидных добавок, увеличивающих водонепроницаемость и удобообрабатываемость.

Для сравнения с данными указанной таблицы приведем данные для этой группы бетонов по некоторым гидростройкам нашего Союза:

Волховстрой.....	2	фракции инертных,	$d_{max} = 6$	см
Свирьстрой.....	3	„	$= 9—10$	„
Днепрострой.....	4	„	$= 10$	„

В отношении оптимальной консистенции для получения наибольшей водонепроницаемости следует повторить то, что мы неоднократно уже подчеркивали в настоящей статье: применение для бетонных плотин земельно-влажных, трамбованных бетонов даже при условии применения вибраторов следует, но нашему мнению, признать безусловно нежелательным. *В таких случаях¹⁾ следует все же применять умеренно-пластичные консистенции, т. е. консистенции в определенной степени менее мягкие, чем они применялись бы без вибрации²⁾.*

¹⁾ При применении вибраторов.

²⁾ См. новейшие исследования по этому вопросу, а также работы Свирьстроя (очерк Н. Ф. Хочиалюка в настоящем сборнике) и Москва-Волгостроя (Москва-волгострой, № 6, 1935).

Таблица 18

№ п/п	Наименование плотина и страна	Число фракций инертных	Из них фракций песка	Предельная крупность камневидной составляющей в см
1	Баульдер — США	5	1	22,8—15,2
2	Пайн-Кэннон — США	5	1	15,2
3	Буль-Рад — США	5	1	17,5
4	Дайабло — США	3	1	10
5	Марезж — Франция	4	2	12
6	Сотэ — Франция	6	3	10
7	Сувнана — Италия	4	2	8
8	Лаги-Джемелли — Италия	4	1 (2)	6,5
9	Пак — Австрия	4	2	8,0
10	Фрайн — Чехо-Словакия	4	2	7,0
11	Блейлох — Германия	3	1	6,0
12	Норрис — США	6	2	15,2
13	Гранд-Кули — США ¹⁾	6	3	—

Мы особенно настаиваем на этом положении, так как оно, кроме водонепроницаемости, в равной мере необходимо и для соблюдения 3-го из поставленных нами основных условия для гидротехнических

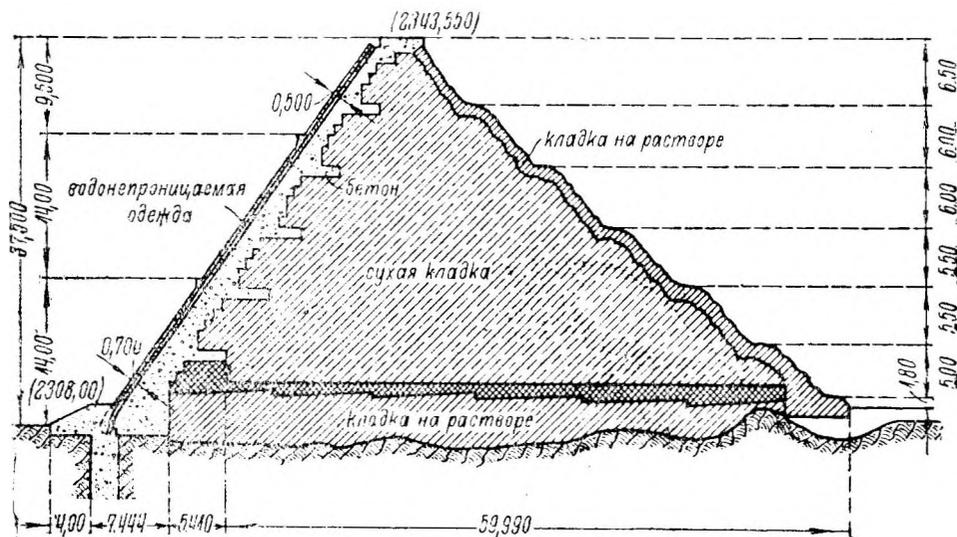


Рис. 74. Плотина Тепук-Тепек—поперечный разрез.

бетонов этой категории, а именно — *однородности бетона*. Не касаясь в настоящей статье *однородности приготовления бетона*, вопроса целиком и полностью разрешенного весьма совершенным оборудованием бетонных заводов главным образом в США, мы обратим главнейшее внимание на условие *однородности укладки бетона*, несоблюдение которого отражается, главным образом, на плотности и водонепроницаемости бетона (в гораздо большей степени, чем на прочности его). При укладке гидротехнических бетонов необходимо оперировать с консистен-

¹⁾ Eng. News Record, vol. 115. № 5. 1935.

циями бетонов, легко поддающихся полной проработке при данных способах его укладки; иными словами, при выборе консистенции бетона с учетом всего комплекса производственных условий необходимо добиваться легко достижимой однородности бетона. В этом положении, на наш взгляд, — основное условие методики гидротехнических бетонов; совершенно ясно, что оно неисполнимо при сухом (трамбованном) бетоне.

7. Незначительная величина напряжений, имеющих место в бетонных плотинах и массивах, и значительные коэффициенты запаса, как-вые, как правило, имеют место гари проектировании этих сооружений, навели некоторых строителей на мысль об отказе от гравитационных бетонных плотин вследствие неиспользования наличной прочности.

Не разделяя в основном этого пессимизма, мы, тем не менее, приводим этот взгляд для того, чтобы вкратце упомянуть и о некоторых иных типах плотин. Таковы из гравитационных типов — плотины из каменной наброски (кладки насухо) с железобетонной водонепроницаемой одеждой верховой грани, а из облегченных (пустотелых) типов — плотины железобетонной конструкции типа Амбурсена и многоарочные, расширяющие категорию грунтов, могущих служить основанием для возведения плотин, включая сюда и слабые грунты.

Ни тот, ни другой тип плотин не имеют пока прецедентов в практике нашего Союза; зарубежная же практика имеет в этом отношении многочисленные примеры. Из набросных плотин необходимо упомянуть плотину Тепукс-Тепек, сооруженную в 1930 г. в Мексике, на- р. Лерма.

Плотина эта имеет высоту в 37,50 м при ширине основания примерно 73 м. Водонепроницаемая одежда состоит из 2 наложенных друг на друга железобетонных слоев от 20 до 30 см (рис. 73 и 74), разделенных слоем асфальтового битума, толщиной в 2,5 см, состоящего из 2 рядов отдельных плит размером 1,25 X ,65 м. толщиной в 1,0 см (рис. 75). Асфальтовая масса укреплена как арматурой сеткой из цельно-решетчатого металла. Аналогичная по типу (каменная наброска) плотина С.-Габриэль в США имеет высоту до 95 м.

Пустотелые плотины, из которых Амбурсеновские плотины, невидимому, экономичнее многоарочных, имеют распространение в США, Италии, Скандинавии и других тиранах.

Относительная новизна и неизученность этих типов плотин, а равным образом, отсутствие подробных данных, доказывающих их действительную экономичность, объясняли до сего времени нашу некоторую сдержанность в вопросе возможности их в условиях нашего Союза конкурировать с плотинами гравитационными. Однако в настоящее

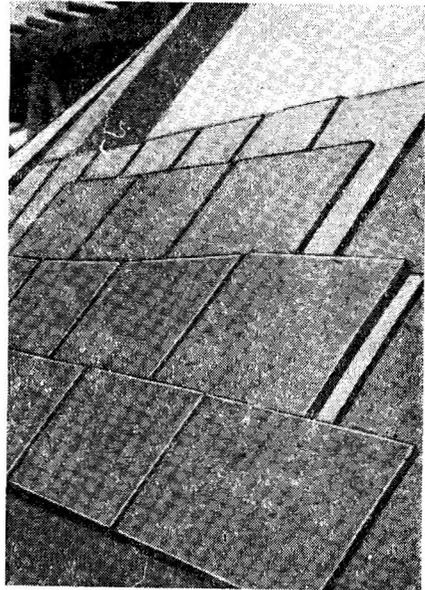


Рис. 75. Изоляция напорной грани из асфальтовых плит.

время многочисленные примеры построенных плотин этого типа в зарубежной практике позволяют считать их безусловно заслуживающими внимания и могущими в ряде случаев представить наиболее выгодное решение; поэтому необходимо добиваться от наших технических органи-

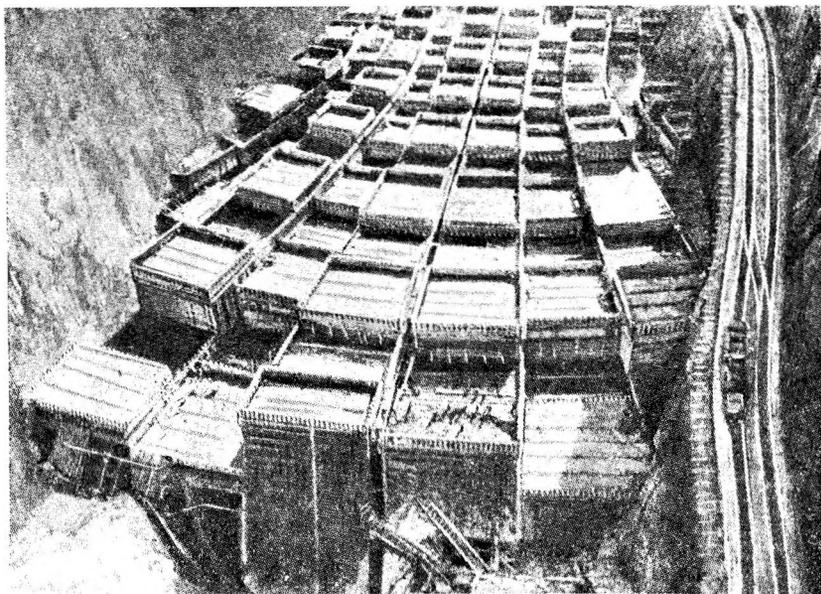


Рис. 76. Общий вид на бетонировку плотины Баульдер.

заций их освоения и применения в вашем строительстве. Во всяком случае путь развития и усовершенствования бетона и его применения в гидротехнических сооружениях описываемой категории определяется двумя основными направлениями: либо для массивного типа гравитационных плотин по линии как бы гигантской кладки из отдельных блоков с применением охлаждения их и цементации швов (по типу плотины Баульдер, рис. 76), либо же по линии развития армированных бетонных конструкций с бетоном высокого качества и вполне монолитных.

Инж. Р. А. МЕЙЕР

БЕТОНЫ КАНАКИРСТРОЯ

§ 1. Характеристика условий строительства Канакирской гидростанции

Кашмирская гидроэлектрическая станция мощностью 88 000 *квт* находится в Армении в 7 км от г. Еревана. Она является первой из станций Севано-Зантиньского Каскада.

Гидротехнические сооружения станции состоят из водозаборной плотины с подпором 5,7 м, безнапорной деривации длиной 12,5 км и напорного трубопровода длиной 430 м.

Деривация малым своим протяжением имеет два туннеля: из них один длиной 300 м и другой длиной 3900 м. Кроме этого, на деривации имеются два акведука, отстойный бассейн, две песколовки, делитель в месте ответвления ирригационного канала, бассейн суточного регулирования на 300 000 м³ с регулятором и напорная камера с сифонным водосбросом и сбросным каналом.

Пропускная способность деривации 60 м³/сек. Помимо обычных требований, которые предъявляются нами к гидротехническим сооружениям в отношении морозостойкости, водопроницаемости и истираемости, к некоторым сооружениям Канакирстроя должны быть предъявлены еще дополнительные требования, обусловленные местными специфическими условиями.

Во-первых, это относится к плотине у сел. Арани, расположенной в районе минерализованных грунтовых вод. Содержание СО₂ на 1 л грунтовой воды доходит здесь до 3,5 г и, следовательно, превосходит насыщенность Кисловодских вод, которые содержат 1,8 г/л. Около 30% углекислоты находится в состоянии агрессивном.

Правда, после установления подпора на плотине минерализация вод под подошвой сооружения значительно смягчится вследствие разбавления грунтовых вод водами фильтрующими из верхнего бьефа, но тем не менее агрессивность этой воды бесспорна.

Положение усложнилось еще тем, что строительная организация Водхоза, которой начато было строительство плотины, не придавала этому факту значения и вывела основание плотины из бетона без каких-либо предохранительных мероприятий против агрессивного воздействия вод.

Вследствие этого Канакирстрою, которому в 1932 г. переданы были работы по плотине, пришлось разрешать уже более трудную задачу по предохранению от разрушения углекислыми водами выведенного бетонного основания плотины.

Степень серьезности поставленной задачи характеризуется заключением, данным акад. Банковым, запрошенным по этому поводу: «Для вод, подобных водам Арзни, никакой цемент не является пригодным и в этих случаях необходимо устранить непосредственное соприкосновение бетона с водой при помощи покрытия бетона изоляционным слоем из битуминозных составов, например, изготовляемым в Баку игнатолом или церолом. Использование подобных составов уже нашло себе широкое применение не только у нас, но и в Германии и в Америке».

Вторым специфическим условием Канакирстроая является наличие в мергельных глинах, встречающихся на канале и составляющих значительную часть большого тоннеля, гипса.

Гипс встречается в виде тонких прослоек но плоскостям напластования мергелей. Мощность их не превосходит 1—2 см и залегают они через интервалы 10—20 см и больше.

Интересно также отметить, что просмотром шлифов мергеля под микроскопом установлено, что в нем содержится гипс в виде кристалликов таких размеров, которые обнаруживаются только при большом увеличении. В обыкновенной воде растворимость гипса незначительна, ¹⁾ но при наличии в воде, хлористого магния и большинства аммониевых, калиевых и натриевых солей растворимость увеличивается.

Поэтому в Петрографическом институте Академии Наук были произведены по заданию строительства специальные опыты по растворимости гипса, содержащегося в мергелях, в искусственно составленной синтетической севанской воде. Такое задание вытекало из условия, что при нормальных попусках из оз. Севан воды, протекающие по каналу, будут состоять на $\frac{2}{3}$ из озерных вод и лишь на $\frac{1}{3}$ — из речных.

Воды же Севана отличаются высокой минерализованностью.

Произведенные опыты показали большую растворимость гипса в севанской воде, и синтетическая вода, пропущенная через образец мергеля, обогащалась за первые суши ионом SO_4 в 366 раз, а по истечении полутора месяцев — в 75 раз.

Таким образом фильтрующая через облицовку вода, попадая в мергель, растворяет в нем гипс, который в свою очередь вредно действует на бетон.

Одновременно вследствие растворения гипса циркуляция водных растворов начинается в самой породе и превращает ее в пластическое состояние, что вызывает ее разбухание. Отмеченное во время опытов увеличение объема составляло 16%.

Кроме того, в севанской воде содержатся соли магния, которые также могут вредно влиять на бетон.

Запрошенные по этому поводу акад. Байков, проф. Дружинин и проф. Кинд в своем общем заключении отметили: «Что касается вод, в которых будет растворяться гипс, находящийся в виде прослоек в мергелях, то в этом случае концентрация ангидрида серной кислоты в воде может достигнуть до 1250 мг/л (считая на насыщенный раствор гипса в воде при 18°).

Хотя такая концентрация едва ли будет иметь место в действительности, но и значительно меньшая концентрация серного ангидрида оказывает вредное влияние на портланд-цемент.

¹⁾ См. П. П. Будников, Гипс и его применение, Изд. Академии Наук, стр. 12.

Поэтому в данном случае для интересующих нас сооружений портланд-цемент должен быть заменен пуццолановым портланд-цементом».

Грунтовые воды в тоннеле, кроме того, содержат и углекислоту. Содержание агрессивной углекислоты составляет около 90 мг/л.

Третьей характерной чертой Канакирского строительства является почти полное отсутствие в районе строительства естественного песка. Естественный песок лишь в небольшом количестве добывается из реки путем устройства в ней специальных песковок.

Основное же количество песка; для 132 000 м³ бетонных и железобетонных работ и 100000 м³ работ по каменной кладке должно быть доставлено из долины р. Араке (камарлинский и эчмиадзинский карьеры), или же получено искусственным дроблением на строительной площадке.

Доставка песка из камарлинского или эчмиадзинского карьеров, связанная с транспортировкой на 30 км по ж. д. и на 10—20 км на автомашинах, сильно удорожает песок, который на месте работ обходится от 40 до 60 руб. за 1 м³ в зависимости от дальности доставки.

Стоимость искусственного дробленого песка составляет 15—20 руб. за 1 м³.

Отсюда понятно стремление в целях удешевления строительства и облегчения работы транспорта к широкому использованию искусственного песка.

Далее надлежит быть отмеченным наличие в Армении гидравлических добавок, важнейшими из которых являются: пемза, диатомит, теджарабадекий трасс, пепел и туф.

Пемза есть разновидность вулканического стекла. Основными месторождениями ее являются: анийское и эйларское. По активности анильская пемза лучше; применяться она должна в перемолотом виде. Чем мельче пемза, тем она активнее.

Пемза с диаметром частиц свыше 0,3 мм теряет свою активность и может рассматриваться лишь как инертная добавка.

Пемза в качестве добавки к вяжущему употреблялась и в древности в Персии и Армении.

Применявшиеся известково-пемзовые растворы отличались хорошей прочностью.

Химический состав пемзы, выраженный в процентах, приводится ниже:

Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃	18%
SiO ₂	68,38%
CaO	2,87%
SO ₃	2,10%
MgO	0,83%
Na ₂ O	0,26%
K ₂ O	0,30%
Потери при прокаливании	6,94%

Содержание активной кремнекислоты составляет 35,32%.

Пемза, тонины портланд-цемента является хорошей пуццолановой добавкой. При применении ее в перемолотом виде она может служить уплотнителем для получения плотных водоупорных бетонов.

Добавка пемзы в естественном виде к цементу в растворе 1 : 3 понижала прочность раствора примерно по ф-ле:

$$K = A_{28} \left(1 - \frac{a}{100} \right),$$

где: K — временное сопротивление раствора после 28-дневного хранения при содержании в нем $a\%$ пемзы,

A_{28} — временное сопротивление цементного раствора,
 a — процент добавки от веса цемента.

Диатомитовые месторождения в небольших залежах встречаются непосредственно на трассе канала. Петрографический анализ его устанавливает, что он состоит, главным образом, из кремнистых скелетов диатомей, сохраняющих форму и только отчасти разрушенных, а также из других кремнистых остатков.

Содержание кремнезема очень высокое, как это видно из химического анализа:

SiO_2	83,46 ⁰ / ₀
Al_2O_3	1,72 ⁰ / ₀
Fe_2O_3	1,63 ⁰ / ₀
CaO	1,23 ⁰ / ₀
SO_3	0,3 ⁰ / ₀
MgO	0 ⁰ / ₀
$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	0,71 ⁰ / ₀
Потери при прокаливании	10,94 ⁰ / ₀

Произведенные в Закавказском институте сооружений (ЗИС) исследования выявили весьма хорошие свойства диатомита в качестве гидравлической добавки, которая повышает устойчивость бетона на портланд-цементе, снижает расход последнего и улучшает консистенцию бетона.

Рекомендованный состав диатомитового портланд-цемента содержит 40% диатомита.

Прочность раствора да этого цемента после 28-дневного твердения равна прочности раствора из портланд-цемента.

Вулканические туфы (теджарабадский аванский карьеры) также являются хорошими гидравлическими добавками. Содержание кремнезема в них колеблется от 02 до 05%.

Переработка этих трассов, однако, сложнее и дороже, а активность их меньше, почему строительство ими не интересовалось.

Из двух рассмотренных гидравлических добавок — пемзы и диатомита предпочтение в отношении качества следует отдать последнему. Тем не менее строительство остановилось на пемзовых пуццолановых добавках из соображений экономического порядка. Дело в том, что ялтинские месторождения пемзы расположены у самой ж. д. и, кроме того, находятся в разработке. Мелочь, которая нужна нам для цемента, получается на карьере в качестве отброса при добычании пемзового орешка и кусковой пемзы. Поэтому стоимость этой добавки низкая, и пуццолановый цемент, изготовленный из 50% портланд-цемента и 50% перемолотой пемзы, обходится не дороже чистого портланд-цемента, включая все расходы по перевозке пемзы на цементный завод и перемалыванию ее на заводе.

Пуццолановый цемент с указанным соотношением признан оптимальным и по заказу Канакирстроя изготовлялся на Давалинском цементном заводе в Армении.

Что же касается диатомитового цемента, то он обошелся бы значительно дороже портландского ввиду высоких транспортных расходов из карьера на завод.

Прибавление же добавки непосредственно на строительной площадке с перемалыванием ее тут же на месте признано недопустимым

ввиду невозможности достигнуть хорошего перемешивания цемента и неоднородности вследствие этого его состава,

§ 2. Требования, предъявляемые к бетонам в отдельных видах сооружений: железобетон, массивы, облицовка

В зависимости от характера работы сооружения меняются и требования, предъявляемые к бетону.

По характеру работы бетона мы подразделяем гидротехнические сооружения Канакирстроя на три основные категории:

а) *Железобетонные сооружения.* Таковые встречаются в силовом здании и в виде верхних надстроек (несущих рам и плат, подъемников, затворов, мостиков, будок и т. и.) плотин, регуляторов, напорной камеры.

Эти сооружения по существу ничем не отличаются от обычных инженерных сооружений и к ним должны быть предъявлены требования, предусмотренные железобетонными нормами.

б) *Массивные сооружения.* В свою очередь распадаются на сооружения, работающие в условиях гидростатического напора, и сооружения, не подверженные действию напора.

В массивных сооружениях напряжение сжатия обычно не превосходит 10 кг/см^2 , а потому подбор состава бетона диктуется не прочностью, а другими условиями.

В сооружениях, не подверженных действию напора, определяющими условиями являются вес и морозостойкость, если сооружение подвержено действию температуры.

Сюда относятся анкерные опоры трубопровода гг подводная массивная часть здания станции.

В массивных сооружениях, подверженных действию напора, к этим двум условиям добавляется еще условие водонепроницаемости. Условие это вызывается двумя причинами: устранением утечки воды и опасением выщелачивания извести из раствора.

Следовательно при наличии напора на сооружение уже требуются плотные бетоны.

К этой категории сооружений относятся плотина, подпорные стенки, бычки и устои.

в) *Облицовка.* Под облицовкой надо понимать облицовку тоннеля и канала. Если к напорным массивным сооружениям мы предъявим требование водонепроницаемости и морозоупорности, то еще более повышенные требования в этом отношении мы предъявляем к облицовке. К этому нас вынуждает небольшая толщина облицовки, которая при наличии арматурной сетки в капало составляет 10 см .

Дополнительные условия, предъявляемые к облицовке, это устойчивость на истирание и пластическая консистенция.

Помимо этих общих требований, мы вынуждены выдвигать еще специальные требования по устойчивости против углекислоты на плотине и в тоннеле, а также против иона серной кислоты и магния в мергельных грунтах.

§ 3. Результаты изучения влияния углекислых вод на цемент и принятые мероприятия по обеспечению устойчивости бетона

Выше уже было приведено заключение акад. Байкова о неустойчивости портландского цемента в углекислых водах и о необходимости специальной изоляции бетона.

Это предложение, безусловно совершенно правильное, не могло быть, однако, использовано строительством ввиду того, что основание плотины уже было возведено без изоляции и потому решение пришлось искать в плоскости создания, путем инъекции раствора, кислотоупорного бетона.

С этой целью строительство приступило к большой исследовательской работе. Работа, эта велась в трех направлениях.

Во-первых, путем колонкового бурения исследовалось состояние бетона в основании плотины, который имел 2-летнюю давность.

Во-вторых, велась по заданию строительства в ЗИСе лабораторные работы по составлению рецепта такого раствора, который, будучи инъ-

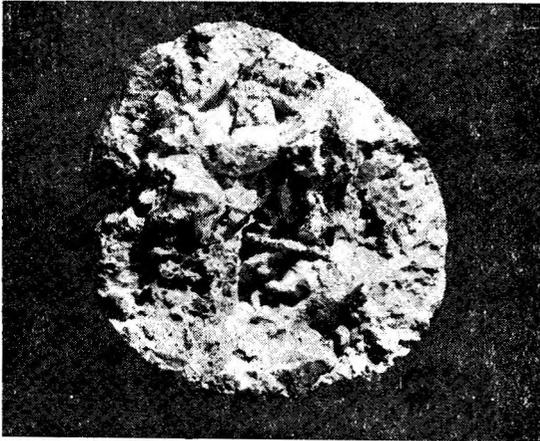


Рис. 1. Образец бетонного керна из основания плотины.

бирине 0,50 м от подошвы. Концентрация раствора углекислоты в разных скважинах была различна, что объясняется различной степенью разбавленности водами р. Занги. Изливавшиеся воды откладывали на бетоне ржавый налет углекислого железа. Дебет воды в скважинах составлял до 0,2 л/сек.

В основании плотины залегает речной аллювий, состоящий из мелких галек, гравия и песка. Бетонные керны, извлеченные из буровых скважин (рис. 1). указывают на то, что уложенный бетон был плохого качества, и что имело место выщелачивание извести. Пустот встречается довольно много размером от 0,5 до 2 см. Имеются и большие пустоты размером в поперечнике до 15 см. О них мы судим по провалам бурового снаряда,

В кернах наблюдаются известковые наросты, как результаты выщелачивания.

Для количественного определения извести, вымываемой из цементного камня агрессивной углекислой водой, применялся метод, предложенный проф. Д. Х. Завриевым, заключающийся в следующем:

В обычный аппарат Сокслета (рис. 2) для экстрагирования загружался мелко измельченный (проходящий сито 4900 $отв/см^2$) цементный камень. К нему подводилась вода, насыщенная углекислотой, которая его выщелачивала. Собирая в колбочке углекислую воду, прошедшую

цирован в бетонную кладку основания плотины, сделал бы ее кислотоупорной. Одновременно аналогичные исследования велась и непосредственно на строительной площадке.

В-третьих, изучались цементы, изготавливаемые у нас в Союзе, а также за границей, с точки зрения удовлетворения их выдвинутым требованиям. К этой последней работе была привлечена также итальянская консультация Гидэпа.

Произведенное разведочное бурение установило, что углекислые воды стали появляться и изливаться из скважины, примерно, на глу-

через гильзу с измельченным цементным камнем, и затем протитровывая ее, можно было определить количество выщелоченной CaO в единицу времени.

Таким образом было установлено, что даже кратковременное пребывание цементного камня под действием неограниченного количества углекислой воды приводит к его разрушению, а потому применение портланд-цемента в гидротехнических сооружениях, контактирующих с агрессивными углекислыми водами, оказалось совершенно недопустимым.

Быстрый процесс разрушения вызывается значительным содержанием в цементе извести. Хороший портланд-цемент содержит около 65% извести, большая часть которой при схватывании и твердении переходит в свободное состояние.

В таком состоянии известь хорошо растворима в воде и легко может быть выщелочена. Даже силикаты и алюминаты цемента, образующиеся при его твердении, в случае неограниченного доступа воды гидrolитически разлагаются, отдавая ей свою известь.

Поэтому в абсолютно чистой воде цементный камень неминуемо должен быть разрушен.

В обычно встречающихся в природе водах содержится некоторое количество углекислоты, которая при небольшом содержании предохраняет цементный камень от разрушения. На поверхности его под влиянием углекислоты свободная известь переходит в углекислую, почти не растворимую в воде. Образующаяся защитная пленка препятствует циркуляции воды внутри цементного камня, и процесс выщелачивания прекращается.

Однако при большом содержании углекислоты защитная пленка углекислой повести переходит в двууглекислую, довольно хорошо растворимую в воде.

В этом случае вода легко проникает во внутрь бетона, и такая вода является разрушительной для него. Для защиты цементного блока от разрушения необходимо в самом цементе создать защитную пленку, не разрушаемую в углекислых водах, и применять цемент менее подверженный действию агрессивных вод.

Способ образования пленки заключается в том, что цемент настолько обогащается кремнеземом, что при вымывании из него извести образуется кремнекислая пленка.

Для обогащения цемента кремнеземом могут быть применены пуццоланы, однако, кремнекислая пленка образуется в таких цементах лишь на поверхности зерен пуццолановой добавки. Тем не менее, такие цементы более устойчивы, особенно, принимая во внимание, что свободной извести в них меньше.

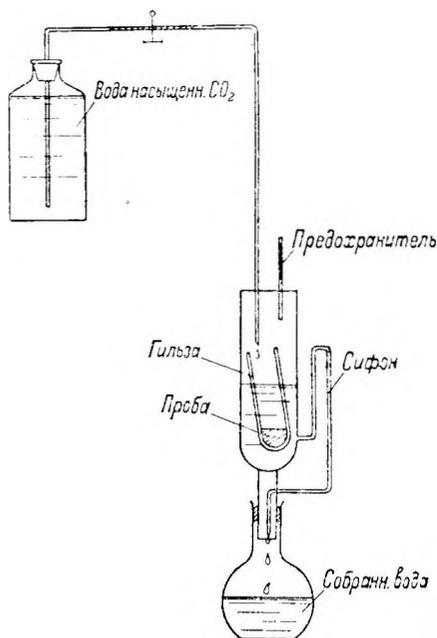


Рис. 2. Аппарат Сокслета для экстрагирования.

Более действительным способом является введение в цемент какой-нибудь растворимой кремнекислой соли, которая при реакции с известью цемента и углекислой водой образовывала бы нерастворимый гель кремнезема, закупоривающий поры.

Наиболее подходящей солью является жидкое стекло. В соединении со свободной известью оно образует нерастворимый в воде силикат, и если даже углекислота извлекла бы из него известь, то в соединении с углекислотой образовался бы гель кремнезема SiO_2 , который совершенно преградит доступ воды в более глубокие слои бетона.

Таким образом сама агрессивная вода вырабатывала бы защиту против своего агрессивного действия.

Проф. Д. Х. Завриев в лаборатории ЗИСа провел большие исследования влияния жидкого стекла на сроки схватывания и прочность портландского и пуццоланового цементов, в котором 50% портланд-цемента заменены измельченной активной пемзой.

Результаты этих работ сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Влияние жидкого стекла на физико-механические свойства портланд-цемента

Название вяжущего	Жидкое стекло в % от веса портланд-цемента	Вода для норм. густоты в % от веса портл.-цемен.	Начало схватывания	Конец схватывания	Прочность на разрыв в кг/см^2		
					на 4-й день	на 7-й день	на 28-й день
Портланд-цемент Каспского завода	0	25	2,58	4,50	33,0	32,0	41,5
То же	2	31,5	0,22	2,56	39,0	39,2	36,0
"	4	31,6	0,15	1,15	27,5	29,7	36,0
"	6	32,2	0,05	0,27	32,0	32,7	35,6
"	8	36,2	0,03	0,09	11,7	22,5	29,0

Таблица 2

Влияние жидкого стекла на физико-механические свойства пуццоланового цемента

Название вяжущего	Жидкое стекло в % от веса пуццоланового портл.-цемента	Вода для нормальной густоты в % от веса вяжущего	Начало схватывания	Конец схватывания	Прочность на разрыв в кг/см^2		
					на 4-й день	на 7-й день	на 28-й день
Пуццолановый портланд-цемент	0	32,0	3	5	16,5	24,2	—
То же	2	33,8	0,35	1,25	19,7	30,2	27,0
"	4	36,2	0,17	0,45	15,0	17,5	—
"	6	32,3	0,13	0,30	15,5	33,0	—
"	8	34,0	0,12	0,25	17,5	21,0	—

Вслед за тем строительством были поставлены опыты опускания образцов цементного раствора 1 : 3 (восьмерки) в бассейн углекислого источника, расположенного в 1 км выше по реке на курорте Арани.

Образцы из портланд-цемента, пролежавшие один месяц в бассейне, показали снижение прочности на 25—30% против таких, же образцов, хранившихся в пресной еженедельно сменяемой воде (возраст образцов 70 дней).

Между тем образцы, изготовленные на пуццолановом цементе (50% анийской пемзы) и на специальном цементе (48,5% портланд-цемента, 48,5% анийской пемзы и 3% жидкого стекла по весу) в том же составе 1 : 3 с Вольским песком, пролежавшие столько же времени в бассейне углекислой воды Арзнинского курорта, дали снижение прочности не свыше 3%.

Надо здесь отметить, что условия хранения в углекислом бассейне чрезвычайно тяжелы для цементного раствора, ибо насыщение углекислотой настолько велико, что бассейн производит впечатление кипящего. Между прочим, из этого бассейна берет углекислоту углекислый завод для газирования вод. Конечно, столь тяжелых условий мы не имеем ни на плотине Канакирстроля, ни в каком-либо другом месте, где приходится возводить инженерное сооружение.

Поэтому результаты опытов интересны не по своей абсолютной величине, а по своему относительному значению. Результаты сведены в табл. 3.

Таблица 3

Временное сопротивление разрыву образцов, пролежавших месяц в углекислой и нормальной воде

№ п/п	Состав раствора	Временное сопротивление разрыву в кг/см	
		хранение в углекислой воде	хранение в нормальной воде
1	Портланд-цемент с вольским песком состава 1:3	23,6	32,7
2	Портланд-цемент с камарзинским песком состава 1:3	31,3	41,4
3	Пуццолановый цемент с 50% анийской пемзы; раствор с вольским песком состава 1:3	24,3	25,1
4	То же, но с камарзинским песком состава 1:3	30,0	30,9
5	Специальный цемент с 48,5% анийской пемзы и 3% жидкого стекла; раствор с вольским песком состава 1:3	21,6	21,8
6	То же, но с камарзинским песком состава 1:3	25,0	26,1

Таким образом полностью подтвердилась правильность теоретических выводов о необходимости обогащения цемента кремнеземом.

С другой стороны, однако, было установлено, что добавление жидкого стекла в состав вяжущего хотя и повышает его стойкость в углекислой воде, но неблагоприятно влияет на реакцию схватывания и твердения самого цемента. Образующийся гель настолько забивает поры, что почти мгновенно вызывает поверхностное затвердевание, между тем как

реакция схватывания и твердения внутри образца тормозится и прочность его ослабляется.

В конечном итоге можно отметить, что результаты применения жидкого отекла с обычными портландскими и пуццолановыми цементами оказались не вполне удачными.

Запрошенная но вопросу обеспечения устойчивости бетона против агрессивного воздействия углекислых вод итальянская консультация Гидэна рекомендовала применение супер-пуццоланового цемента, как единственную реальную меру защиты.

В подтверждение этого ею приводился пример, имевший место на одном из ирригационных сооружений Нижней Лодигианы (Италия). На этом сооружении после десяти лет эксплуатации была замечена глубокая дезинтеграция одной из галерей.

В первый раз ремонт был произведен в 1929 г. с применением нормального портландского раствора, с большим количеством цемента, по год спустя, то же явление дезинтеграции было замечено снова.

Произведенный анализ грунтовых вод показал большое количество свободной углекислоты. Тогда в 1931 г. был произведен вторичный ремонт сооружения с применением специального супер-пуццоланового цемента и с тех пор оно работает вполне исправно.

В пуццолановом цементе свободная известь клинкера химически связывается элементами кислоты пуццоланы.

Однако к недостаткам пуццоланового цемента относится медленное затвердение; это объясняется медленным развитием процесса гидратации самого цемента и связывания свободной извести во время схватывания.

Этот недостаток особенно чувствителен, когда бетон должен укладываться при наличии агрессивных вод, действие которых может проявиться раньше, чем состав приобретет необходимую химическую стойкость.

Для устранения этого недостатка в настоящее время изготавливается пуццолановый супер-цемент (сверхцемент), который к отмеченным качествам пуццоланового цемента присоединяет еще качество быстрого затвердевания.

Сопротивление цемента воздействию активных вод тем выше, чем активнее будет добавка, введенная в портланд-цемент для связывания извести.

По сообщению инж. Марчелло итальянский супер-пуццолановый цемент, помимо чрезвычайной тонкости помола (через сито 10 000 отверстий проходит почти без остатка), характеризуется следующими отношениями модулей:

$$\begin{aligned} 2,00 < x < 2,20 \\ 1,35 < y < 1,65 \\ 1,40 < z < 1,80 \\ 4x + y + z = 12,5, \end{aligned}$$

где x — гидравлический модуль

$$x = \frac{\text{CaO} + \text{MO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3},$$

y — кремнеземистый модуль

$$y = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3},$$

z — глиноземистый модуль

Во избежание импорта цемента из Италии были рассмотрены специальные цементы, изготавливаемые у нас в Союзе, Модули этих цемента приведены в табл. 4.

Таблица 4

Наименование цемента	Модуль цемента			4x + y + z	Остаток на сите 4 900 отв/см ² в %
	гидравлическ. x	кремнеземист. y	глиноземистый z		
Новороссийский трассовый портланд-цемент	1,05	4,18	2,89	11,27	14,4
Брянский пуццолановый портланд-цемент	1,25	3,80	1,16	9,96	12,8
Глинистый портланд-цемент завода Спартак					
80% клинкера 20% глины	1,37	2,46	1,52	9,46	—
70% " 30% "	1,16	2,29	1,63	8,76	—
60% " 40% "	1,04	2,46	1,69	8,31	—
50% " 50% "	0,98	2,47	1,70	8,09	—

Все они, как видно из таблицы, сильно отличаются от итальянских супер-пуццолановых цемента.

По заключению Миланского бюро итальянской консультации ни один из наших цемента не разрешает вопроса борьбы с агрессивными углекислыми водами; относительно лучшим, по мнению консультации, является пуццолановый цемент Брянского завода в условиях воздействия активной углекислоты.

Супер-алюминиевые цементы быстро затвердевают и предпочтительнее для ряда случаев, например в морской воде, но для данного случая не могут быть рекомендованы вследствие растворимости алюминатов цемента углекислотой.

Вследствие значительного расхождения модулей наших цемента от установленных для супер-пуццолановых в конце заключения Миланского бюро отмечено, что эти цементы не могут быть никоим образом рекомендованы для работ на Канакирской плотине.

Тем не менее, не имея возможности получить импортный супер-пуццолановый цемент, строительство продолжало поиски внутри Союза такого цемента, который мог бы дать удовлетворительное решение. И цемент этот был найден, хотя он и не имеет ничего общего с супер-пуццолановым.

Цемент, на котором остановилось строительство — это кислотоупорный цемент Брянского завода. Цемент этот применялся для защиты от действия серной, азотной, соляной, фосфорной, уксусной и других кислот. В условиях углекислоты он по заданию строительства был впервые испытан в лаборатории и дал хороший результат.

Кислотоупорный брянский цемент представляет из себя мелко измолотый кварцевый песок с добавкой к нему фтористого кальция и других веществ в незначительном количестве. Сам по себе он не является свя-

бывающим и связующие свойства приобретает лишь при применении в соединении с жидким силикатом. Содержание кремнезема в нем доходит до 97—98%.

Для ускорения процесса схватывания с жидким стеклом применяется катализатор. При этом срок схватывания может быть доведен до 5 минут и меньше.

Этот цемент в соединении с жидким стеклом инвентаризовался через скважины, пробуренные на расстоянии 1.20 м друг от друга, в бетонное основание плотины. Число буровых скважин составило 594. Проникший в поры бетона цемент должен образовать нерастворимые кремнистые соединения, благодаря нему бетон станет совершенно водонепроницаемым, и вредное воздействие углекислота прекратится.

Надо добавить, что хотя применение кислотоупорного цемента и дает достаточное основание предполагать, что таким путем задача вполне технически разрешается, но решение это относится к дорогим, так как кислотоупорный цемент в 5 раз дороже обыкновенного портланд-цемента.

Поэтому необходимо на базе изучения заграничного опыта уже в ближайшее время наладить изготовление у нас в Союзе супер-пуццоланового цемента. Этот цемент найдет широкое применение во всех гидротехнических сооружениях, которые будут возводиться в условиях наличия агрессивно действующих вод.

Для ознакомления с итальянскими суперпуццолановыми цементами через итальянскую консультацию были получены из Италии образцы трех видов цемента, которые были переданы в Институт цемента для всестороннего изучения.

§ 4. Результаты изучения применения искусственного песка и пылевидных добавок в гидротехнических сооружениях

По указанной выше причине — дороговизне естественного речного песка — строительство было крайне заинтересовано к широкому применению искусственного песка, вырабатываемого на месте.

По местным условиям материалом для искусственного песка могут служить базальты и андезитово-базальты, с одной стороны, и туф. с другой стороны.

Строительством изучались оба эти материала и характеристики их будут даны ниже.

Применение искусственных песков в массивных сооружениях, неподверженных гидростатическому напору, конечно, никаких возражений вызывать не может.

В железобетонных надводных сооружениях туфовый песок не может быть рекомендован вследствие меньшей прочности, а базальтовый песок вполне может заменить естественный при соответствующей грануляции. Угловатая форма песчинок, обуславливающая лучшее внутреннее сцепление, обычно вызывает даже большую прочность раствора.

В качестве примера приводятся результаты испытания в ЗИСе цементного раствора состава 1 : 3 на искусственном базальтовом-песке и на нормальном Вольском (табл. 5).

Однако нас сейчас интересуют не надводные бетоны, а бетоны гидротехнических сооружений, в которых при соблюдении некоторых условий применение искусственных песков тоже вполне возможно. Вопрос здесь сводится в основном к водонепроницаемости бетона.

Таблица 5

Раствор	Водоцементный фактор	Сопротивление разрыву в кг/см ²		Сопротивление сжатию в кг/см ²	
		через 7 дней	через 28 дней	через 7 дней	через 28 дней
На базальтовом песке	0,57	31,0	32,5	320	393
На нормальном вольском песке .	0,47	16,6	18,0	190	200

Водонепроницаемым бетоном будет бетон наиболее плотный, что в свою очередь требует наилучшего заполнения пустот.

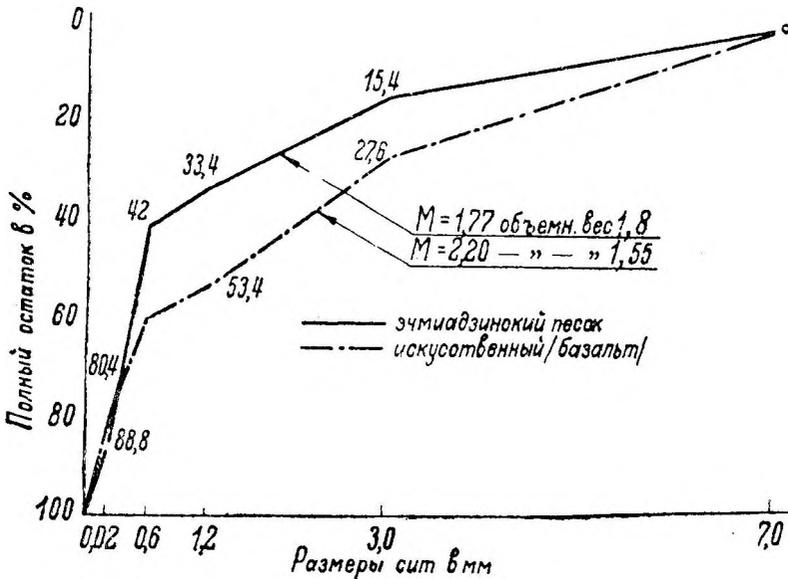


Рис. 3. График гранулометрического состава эчмиадзинского реznego и искусственного песка из базальта.

В этом отношении естественный речной лесок, лучше, ибо форма его зерен приближается к шаровидной, обладающей низкой удельной поверхностью. Пористость такого песка меньше, чем песка искусственного.

Поэтому нельзя рекомендовать приготовление гидротехнических бетонов на одном искусственном песке, ¹⁾ а применять его следует в смеси с естественным, а также с пылевидными добавками.

Дробленые пески, изготовляемые на строительных площадках Канакирстроя, имеют объем пустот до 42—43%. Речной песок из долины Аракса (эчмиадзинский и камарлинский карьеры), применяемый на строительстве, имеет объем пустот 3%.

¹⁾ При одном искусственном песке ухудшается также удобообрабатываемость бетона.

На рис. 3 приведен график гранулометрического состава эчмиадзинского и искусственного песка, приготовленного из базальта.

Кривая гранулометрического состава искусственного песка может быть значительно улучшена путем перемешивания его с естественным.

В табл. 6 показана в процентах просеиваемость через стандартные сита эчмиадзинского и искусственного песка и смесей в составе 75% эчмиадзинского и 25% искусственного и 50% эчмиадзинского и 50% искусственного (см. также график гранулометрического состава, смесей на рис. 4). В табл. 6 приведены также результаты просеивания смеси из эчмиадзинского, искусственного и зангинского песка, перемешанных в равных долях.

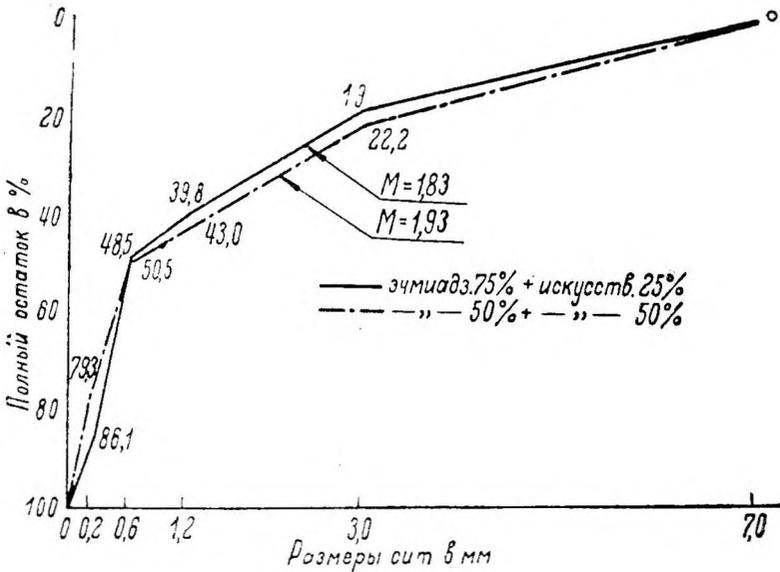


Рис. 4. График гранулометрического состава смешанного песка.

В гидротехнических сооружениях Канакирстроя допускается применение искусственного песка в количестве до 50% от общего количества пеока. При этом полевые лаборатории обязаны вести контроль за правильным гранулометрическим подбором.

Таблица 6

Размер сита в мм	Эчмиадзин- ский песок <i>a</i>	Искусствен- ный песок <i>h</i>	75% <i>a</i> + + 23% <i>b</i>	50% <i>a</i> + + 50% <i>b</i>	33,3% <i>a</i> + + 33,3% <i>b</i> + + 33,3% зангинского песка
7	100	100	100	100	95
3	84,0	72,4	81,0	77,8	75
1,2	06,0	40,0	00,2	57,0	59
0,0	58,0	39,0	51,5	49,5	52
0,2	13,2	19,0	13,9	20,7	13

Наряду со значительным количеством крупных частиц в искусственном песке наблюдается большое количество пылевидных частиц.

Наличие пылевидных частиц уплотняет бетоны и с этой стороны является положительным фактором, но одновременно пылевидные составляющие ухудшают обрабатываемость его и ведут к повышению водоцементного фактора, что, с другой стороны, влияет на уменьшение плотности и водонепроницаемости бетона.

Произведенные в строительной участковой лаборатории опыты на прочность бетона с искусственным песком подтвердили высокую прочность его, хотя, как видно из табл. 7 (образцы № 108—110), увеличение его содержания сверх 50% как будто ведет уже к понижению прочности. Правда здесь надо оговориться, что опыты, результаты которых показаны в табл. 7, произведены в разное время, а следовательно, на разных цементных, что могло повлиять на результат.

Таблица 7

Лабораторные №№ образцов	Время затворения	Состав 1 м ³ бетона				Прочность через 28 дней в кг/см ²	Состав песка
		щебень в л	песок в л	вода в л	цемент в кг		
85—87	22/V 1933 г.	910	455	146	175	201	50% искусственного + 50% речного
88—90	22/V 1933 г.	910	455	114	175	188	То же
108—110	4/VII 1933 г.	845	528	160	220	170	70% искусственного + 30% речного

Канакирстроом производилось также изучение влияния каменной пыли на прочность цементного камня и водонепроницаемость раствора.

Добавка пыли производилась в количестве от 5 до 35% от веса, цемента.

Средние результаты испытания 10 образцов цемента с пылью на временное сопротивление растяжению приведены в табл. 8.

Таблица 8

Процент пыли от сухой смеси	Процент воды от сухой смеси	Временное сопротивление кг/см ²		Временное сопротивление балочки в кг/см ²
		через 7 дней	через 28 дней	
0	27	54	54	113
5	27	52	49	100
10	27	55	53	108
15	27	43	48	109
20	27	51	51	103
25	27	47	49	99
30	27	38	40	92
35	27	42	43	90

Этими испытаниями было установлено, что добавка пыли в 10% от веса сухой смеси почти не отражает на прочности цемента, и что

даже добавление пыли в размере 35% понижает прочность всего лишь на 20—22%.

Добавка пыли, если она не превосходит известного предела, увеличивает водонепроницаемость бетона и дает возможность экономить цемент.

Исследования на водонепроницаемость велись в аппарате Бурхартца под давлением в 3 ат.

Исследуемые образцы имели, размеры 20 x 20 % 10 см и испытывались через 28 дней после затворения. Образцы да время испытания находились под давлением в течение 2 суток.

За эталон был принят образец из раствора чистого цемента с вольским песком. Состав раствора был 1 : 4. В остальных образцах вяжущее с пылью бралось в такой же пропорции с носком.

Фильтрационные свойства образцов измерялись относительно эталона из чистого цементного раствора, водопроницаемость которого была принята за единицу (табл. 9).

Таблица 9

Относительная водопроницаемость цементных растворов с добавкой пыли

Содержание пыли в %	Относительная водопроницаемость	Содержание пыли в %	Относительная водопроницаемость
5	0,80	25	0,81
10	0,78	30	0,93
15	0,67	35	1,10
20	0,70	-	-

Из этих данных следует, что с точки зрения водонепроницаемости оптимальными растворами являются растворы с добавкой пыли в количестве от 15 до 20% от веса цемента,

Таким образом строительство установило возможность и желательность применения каменной пыли в количестве 20% от веса вяжущего.

Используемая с этой целью каменная пыль получается в виде отсева при производстве искусственного песка.

Изготовление пейса из базальта, сильно изнашивает камнедробилки и пескодробилки ввиду его твердости, а так как твердость песка, повышающая прочность раствора, для гидротехнических сооружений, где мы имеем дело с небольшими напряжениями, не играет решающей роли, то нами было обращено внимание на возможность использования в качестве материала для песка — туфа.

С этой целью по заданию строительства Армянским институтом сооружений (АИС) были произведены специальные исследования.

Объемный вес туфового нерка 1100 кг/м³. Объем пустот без учета внутренних пор песчинок — 26%, а с учетом их — 48%. Следовательно один объем туфового песка может впитать 0,22 объема воды.

На рис. 5 приведены гранулометрические, кривые для камарлинского песка и искусственного песка из туфа.

Тонкими линиями показаны пределы, в которых обычно укладываются гранулометрические кривые хороших по качеству песков.

Таблица 10

Наименование песков	Составы растворов			Примечание
	цемент в кг	песок в л	вода в л	
Туфовый песок	1,2	2,5	1,21	Объемный вес цемента 1,2
Камарлинский песок.....	1 2	2,5	0,66	

Из графика мы видим, что кривая хорошо укладывается в эти пределы и выступает из них лишь в нижней части, что является следствием большого количества пыли (37% объема песка).

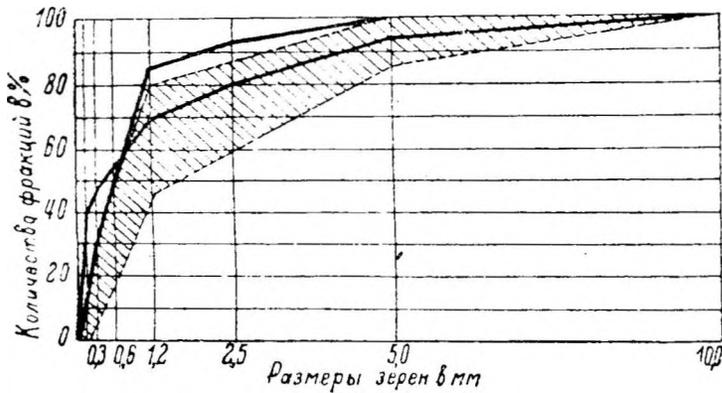


Рис. 5. График гранулометрического состава искусственного песка из туфа.

Опыты до определению механической прочности производились с раствором состава 1:2,5.

Одновременно были изготовлены образцы с камарлинским песком.

Составы опытных порций раствора видны из табл. 10.

Раствор на туфовом песке потребовал воды в 2 раза больше. При этом надо иметь в виду, что в туфовом песке $0,22 \times 2,5 = 0,55$ л воды идет на заполнение пор в песчинках, и, таким образом, водоцементный фактор в обоих растворах можно считать одинаковым.

После 28-дневного хранения в воде образцы были подвергнуты механическому испытанию, осредненные результаты которого приведены в табл. 11.

Таблица 11

Наименование растворов	Среднее сопротивление растяжению в кг/см ²	Среднее сопротивление сжатию в кг/см ²
Раствор на туфовом песке ..	15,6	146
Раствор на камарлинском песке	20	185

Результаты эти показывают, что, как и следовало ожидать, прочность растворов на туфовом песке на 22% ниже.

Для исследования водонепроницаемости были изготовлены образцы, круглой формы диаметром 8 см и толщиной 2 см. Растворы брались в пропорции 1:2; 1:3; 1:4.

Испытание производилось в специальном приборе конструкции инж. Акоюн. Прибор этот отличается крайней простотой и вместе с тем точностью и может быть вполне рекомендован для аналогичных испытаний. Чертеж прибора см. на рис. 6. Он состоит из металлической круглой части А и крышки В. Образец укладывается на специально устроенную для него полочку и зазор между ним и стенками прибора заливается растопленным воском. После этого особыми сжимами, не показанными на чертеже, к прибору прижимается крышка с резиновой

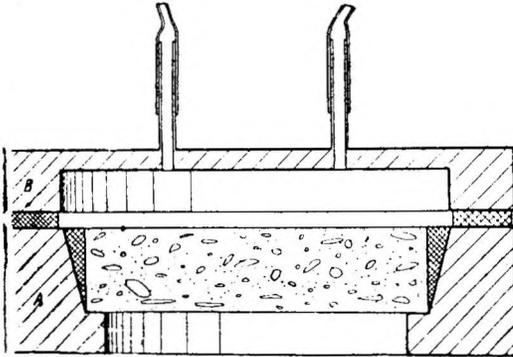


Рис. 6. Прибор инж. Акоюн для исследования водонепроницаемости образцов.

прокладкой. Таким образом над образцом получается небольшое герметически закрытое пространство, в котором и держится под напором вода во время испытания. Подача воды в это пространство производится через припаянную к крышке прибора тонкую медную трубку, на которую надевается конец подводящего воду резинового шланга. Другой конец этого шланга соединяется с градуированной мензуркой, помещенной на высоте 10 м. Для выпуска воздуха из прибора в начале опыта к крышке В припаяна вторая трубка с надетым на нее небольшим куском резинового шланга. Свободный конец этого шланга закрывается во время действия прибора обычным зажимом. Наполнив прибор из верхней мензурки водой и одновременно выпустив из него воздух, наблюдают через определенные промежутки времени за опусканием столбика воды в мензурке, чем и определяется величина фильтрации через образец.

Результаты исследования 3 образцов на водонепроницаемость приведены в табл. 12.

Таблица 12

Название песка	Состав раствора	Водонепроницаемость в см ³ /час			Средняя	Примечание
		1	2	3		
Туфовый песок	1:2	0,2	0,2	0,3	0,2	Два образца состава 1:2 за 2 суток остались снизу сухими, а на третьем были обнаружены мокрые пятна
	1:3	3,5	4,1	3,2	3,6	
	1:4	8,6	7,5	8,0	8,0	
Камарлинский песок	1:2	0,05	0,05	0,05	0,05	Все 3 лепешки состава 1:2 за 2 суток остались снизу сухими
	1:3	1,3	0,7	1,1	1,1	
	1:4	4,7	4,4	5,3	4,8	

Из таблицы мы видим, что относительная фильтрация в растворах с туфовым лоском больше фильтрации в растворах с камарлинским песком в 4, 3,6 и 1,7 раза.

Кроме того, необходимо учесть большую водопоглощаемость туфового песка, в связи с чем под вопросом стоит его морозостойкость.

Все это приводит к выводу, что туфовые пески применять можно лишь в неотвественных гидротехнических сооружениях.

В ответственных сооружениях возможно лишь применение искусственного песка из более твердых и непористых материалов.

§ 5. Результаты изучения бетонов на сложном вяжущем растворе с применением в качестве активных добавок извести, пемзы и диатомита с уменьшением расхода портланд-цемента

Дефицит в цементе, с одной стороны, и стремление к получению более плотных и стойких цементов, с другой стороны, привели к тому, что проблема сложного вяжущего раствора привлекла к себе большое внимание закавказских гидростроек и послужила темой для многочисленных исследований в лаборатории Закавказского института сооружений и др.

В результате этого к 1930 г. на сложном вяжущем, в состав которого входило 60 кг цемента, 60 кг извести и 120 кг активной пемзы, была сооружена плотина небольшой гидростанции Иджеван-ГЭС в Армении, а весной 1931 г. — бетонная облицовка канала той же станции.

Трехлетняя работа бетона на сложном вяжущем веществе в сооружениях Иджеван-ГЭС на практике доказала возможность его применения. Следует только отметить, что Иджеванская ВЭС расположена в местности с мягким климатом, вследствие чего морозостойкость бетона здесь не играла большой роли.

Канакирское строительство интересовалось следующими гидравлическими добавками, представляющими практический интерес: известью, пемзой, пылью и диатомитом.

Пемзовая пыль признавалась активной гидравлической добавкой при просеивании без остатка через сито № 1 ($d = 0,15$ мм).

Пемзовые частицы крупностью от 0,15—0,30 мм наполовину отнесли к инертным фракциям и наполовину к активным. Более крупные фракции активной добавкой не признавались.

Исследованиями были охвачены три группы бетонов:

1) Бетон на пуццоланизированном портланд-цементе без извести.

2) Бетон на сложном цементе с невысоким расходом извести (27 кг/м³).

3) Бетон на сложном цементе со значительным содержанием извести (60 кг/м³).

Кроме того рассмотрены были растворы портланд-цемента с добавкой диатомита.

Все бетоны со сложным раствором из цемента, извести и пемзы подвергались испытанию на механическую прочность, морозостойкость, водонепроницаемость и истираемость.

Все эти качества имеют большое значение при применении бетонов на сложном растворе для облицовки деривационного канала.

Не останавливаясь на механическом испытании прочности, которое велось обычным способом и результаты которого приведены в табл. 13. перейдем к испытанию других свойств этих бетонов.

Если механическая прочность бетона в прямом смысле не играет для нас большой роли, особенно для облицовки канала, то косвенно она имеет большое значение, ибо она в сильной степени связана с его морозостойкостью и истираемостью, а в некоторой степени — и о водонепроницаемостью.

Для облицовки канала несомненно основными качествами являются морозостойкость, водонепроницаемость и истираемость.

Испытание на мороз производилось замораживанием насыщенных водой образцов в ящике Белелюбского до температуры -17 С. После каждого замораживания образцы взвешивались, чтобы по изменению веса судить о их состоянии. Замораживание каждого образца производилось 15 раз. По окончании замораживания образцы подвергались испытанию на сжатие.

При этом оказалось, что все составы, включая и состав на чистом портланд-цементе, имеют в той или иной степени повреждения.

Наименьшее повреждение, граничащее с отсутствием такового, имеет бетон на пуццолановом портланд-цементе с заменой 15% портланд-цемента пемзой добавкой. Дальнейшее повышение пемзой гидравлической добавки с соответствующим снижением доли портланд-цемента ведет к понижению морозостойкости бетона, в данном возрасте.

Сложный цемент с известью и пемзой также оказался стоек при достаточном количестве портланд-цемента (не меньше 150 кг/м^3 бетона) и даже превосходит стойкость пуццоланизированных портланд-цементов. При этом, однако, содержание извести не должно превышать 10% от вяжущего. В противном случае происходит снижение морозостойкости.

Испытания производились через 28 дней после затворения бетона. Это обстоятельство следует иметь в виду, так как бетоны на сложном вяжущем растворе с течением времени увеличивают свою прочность.

Испытания на водонепроницаемость производились на приборе Бухгартца. Образцы имели площадь основания $20 \times 20 \text{ см}$ и высоту 10 см .

Испытание длилось 24 часа, причем за этот срок водяное давление увеличивалось сначала постепенно от 1 до 10 ат в течение 5 часов, а затем уже сохранялось постоянным на величине 10 ат .

Испытания показали, что все испытанные бетоны оказались практически водонепроницаемыми, что же касается насыщения их водой, то такое оказалось нехарактерным, так как образцы до испытания были просушены не в одинаковой мере. Вообще необходимо отметить, что применяемый метод испытания на водонепроницаемость оказался неудовлетворительным.

Значительно удачнее были проведены испытания на водонепроницаемость раствору с туфовым песком методом инж. Акоюн, который был описан на стр. 136.

Испытания на истираемость велись струей воды на специальном станке, который описан в восьмом выпуске трудов ЗИСа, в статье инж. Ломизе.

Образцы бетона исчислялись через 28 дней после затворения. Перед испытанием и после испытания образец взвешивался.

Испытание производилось струей воды под давлением в 6 ат в течение 3 часов. При этом не было выявлено каких-либо повреждений образцов, что, однако, в значительной степени необходимо отнести за счет несовершенства опыта.

Результаты испытания бетонов на сложном вяжущем растворе

№ составов	Активность сложного цемента	Расход вяжущего на 1 м ³ бетона	Состав 1 м ³ бетона						Результаты испытания			
			Вяжущие			ще-бенъ	песок	вода	Проч-ность на сжатие в кг/см ²	Морозостойкость при 15-кратном замораживании		
			порт-ланд-цемент в кг	известь в кг	цемяза-выль в кг					потеря в весе в %	потеря проч-ности в %	наружный вид
1	200	200	200	—	—	965	1000	215	113	0,62	—	Слабое нарушение кромок
2	200	210	178	—	32	950	980	210	122	0,04	3,76	Поврежденный нет
3	200	240	204	—	36	915	945	230	86	—	—	—
4	200	270	203	27	40	890	925	230	96	—	—	—
5	180	240	168	—	72	915	945	240	71	0,93	2,58	Небольшое нарушение кромок и углов
6	180	270	175	27	68	894	916	230	89	0,22	10,6	Слабое нарушение кромок
7	150	240	144	—	96	930	960	240	76	0,26	6,35	Окрашивание углов
8	150	270	135	27	108	884	916	230	112	0,13	2,63	Слабое нарушение кромок
9	150	300	150	60	90	870	905	230	102	0,17	10,70	Слабое нарушение углов и кромок
10	110	270	122	—	148	890	920	230	93	0,90	5,63	Нарушение углов, кромок и поверхности
11	110	300	120	60	120	870	905	235	76	0,90	17,50	То же
12	90	300	90	60	150	870	905	227	63	1,03	8,73	То же

Все работы по исследованию бетонов на сложном вяжущем были произведены в лаборатории Закавказского института сооружений (ЗИС) в Тбилиси.

Результаты опытов сведены в табл. 13.

Для иллюстрации приведены также фотографии образцов, произведенные после замораживания (рис. 7). На фотографиях отменены лабораторные номера образцов, причем следует иметь в виду, что:

Составу № 1	соответствуют образцы	97 и 98
» № 2	»	11 и 12
» № 7	»	82 и 83
» № 8	»	57 и 58
» № 10	»	35 и 36
» № 11	»	39 и 40
» № 12	»	23 и 24

На основании сводной табл. 13 можно прийти к выводу, что как по прочности, так и по морозостойкости, все испытанные бетоны могут найти применение в гидротехнических сооружениях. При этом следует, конечно, учитывать, что прочность их со временем должна еще значительно возрасти. На условие водонепроницаемости они также выдерживают испытание.

При оценке их химической стойкости надо иметь в виду, что пемза является пуццолановой добавкой, связывающей свободную известь и, следовательно, делающей бетон более стойким по отношению к химическим реагентам.

То же можно сказать и в отношении выщелачивания извести пресной водой. (Химический состав пемзы приведен на стр. 121.)

При выборе того или иного состава необходимо руководствоваться также температурным режимом, так как бетоны с большим количеством гидравлических добавок имеют срок твердения свыше 2 месяцев, в течение которых им должна быть обеспечена нормальная температура.

Из пуццолановых составов с малым содержанием цемента обращают на себя внимание составы № 7 и № 10. В них пемзовая добавка составляет 40 и 55% от веса вяжущего. В условиях благоприятного климата и при окончании работ заблаговременно до наступления холодов предпочтение может получить состав № 10.

При переходе к бетонам 2 группы, содержащим в небольшом количестве известь в качестве добавки, следует отметить, что эти бетоны показывают значительные преимущества механических качеств перед остальными. запроектированными с тем же расходом портланд-цемента.

Кроме повышения механических свойств бетона, при введении в состав его извести, наблюдается резкое улучшение его обрабатываемости по сравнению с пуццолановыми цементами. Из бетонов этой группы обращает на себя внимание состав № 8. Отрицательным свойством является усложнение процесса изготовления цемента (три составные части) и, повидимому, ухудшение его химических свойств, хотя к этому направлению опыты, к сожалению, не проводились.

Наиболее благоприятное соотношение извести к пемзе ЗИСом установлено 1 : 2.

Третья группа бетонов с расходом 60 кг извести на 1 м³ бетона показывает наиболее низкую морозостойкость. Вместе с тем бетоны этой группы требуют и наиболее длительного срока твердения (свыше 2 месяцев) при нормальной температуре.

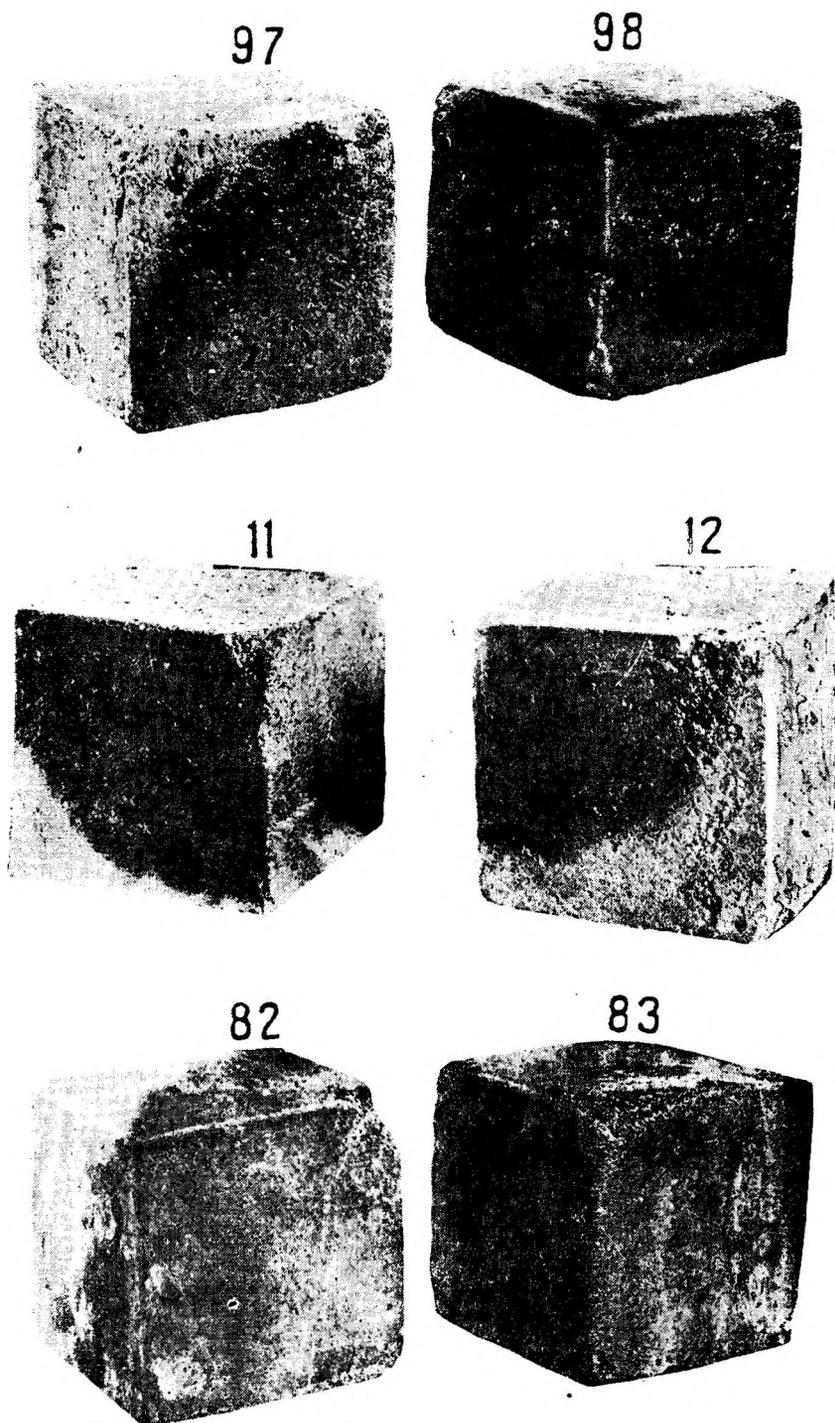


Рис. 7а. Фотографии образцов бетона на сложном вяжущем растворе после испытания на морозостойкость. Образцы №№ 97, 98, 11, 12, 82, 83.

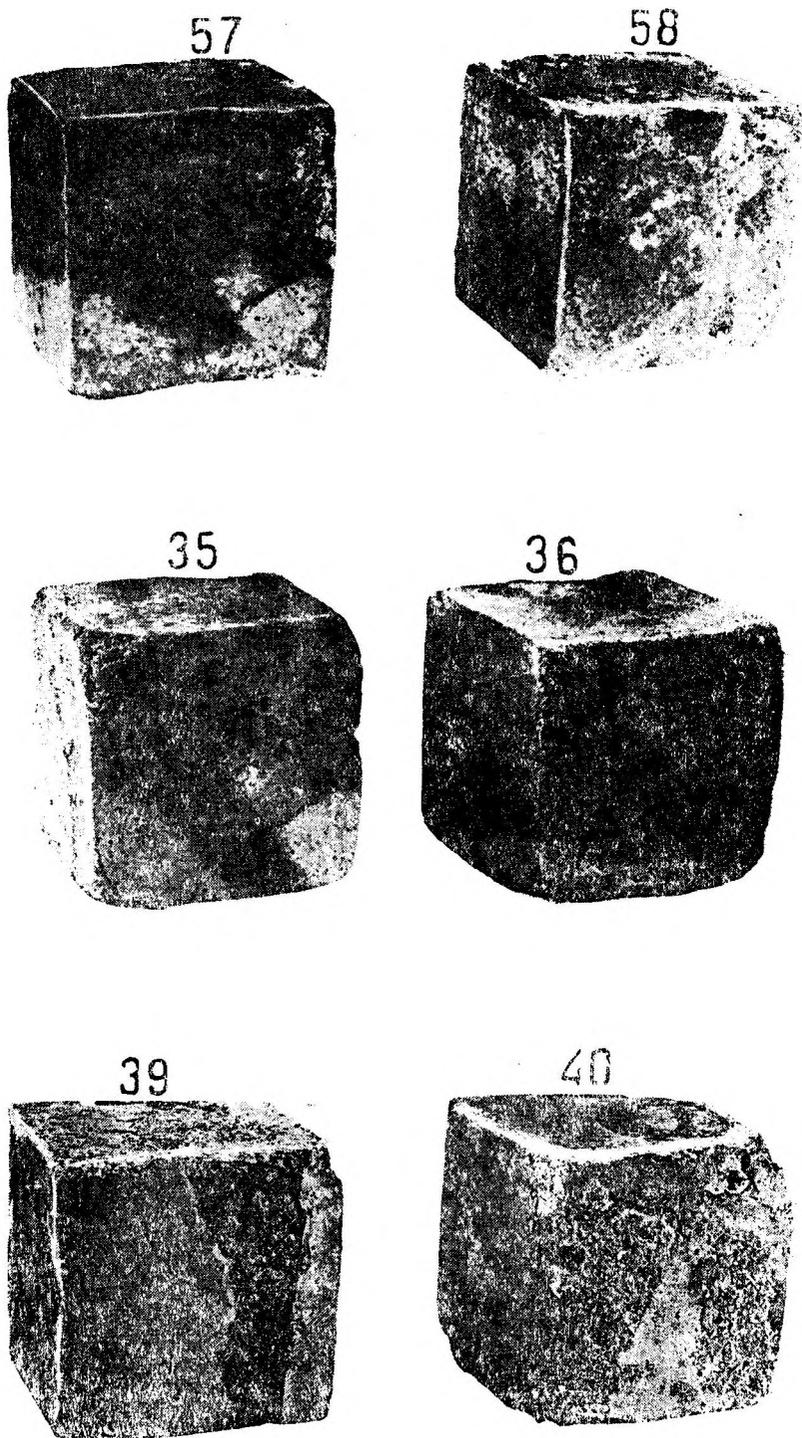


Рис. 7б. Образцы №№ 57, 58, 35, 36, 39, 40.

Таблица 14

Активность пуццолановых цементов

Состав пуццоланового цемента		Временное сопротивление сжатию раствора в кг/см ²							
портланд-цемент	добавки	Добавка пемзовая				Добавка туфовая			
		4 дня	7 дней	28 дней	3 мес.	4 дня	7 дней	28 дней	3 мес.
100	0	229	250	300	345	216	248	305	361
90	10	204	245	293	292	200	253	275	327
80	20	211	243	264	334	180	218	242	277
70	30	162	188	233	307	158	182	223	269
50	50	125	140	218	232	100	102	128	153

В добавление к материалам по испытанию бетонов приводится еще табл. 14 результатов испытания пуццолановых растворов. Эти испыта-

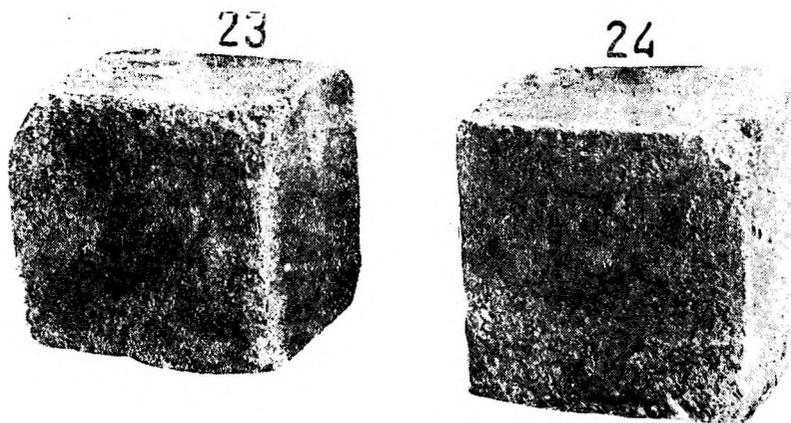


Рис. 7е. Образцы №№ 23, 24.

ния произведены с портланд-цементом высокой активности ($R_{28} = 300 \text{ кг/см}^2$) с добавкой измельченной пемзы и туфа и отворенных на польском песке. Состав растворов 1 : 3.

Таблица характеризует степень понижения активности пуццолановых цементов по сравнению с портландским.

Из этих данных мы можем сделать 2 вывода: 1) пемзовая добавка активнее туфовой, 2) даже при замене половины портланд-цемента добавкой, полученный продукт удовлетворяет требованиям стандарта в отношении нормального портланд-цемента (ОСТ 5036, марка «0») и пуццоланового (ОСТ 5007, марка «0»). Равным образом пуццолановые цементы с пемзой и туфом вполне удовлетворяют требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема.

Интересны также произведенные испытания растворов с диатомитом.

Опытами установлено, что диатомит является весьма хорошей гидравлической добавкой. Оптимальный состав, дающий максимальную прочность в любом возрасте и способе хранения, содержит в своем составе 20% диатомита, вместо такого же количества портланд-цемента.

При этом прочность такого раствора после годичного срока хранения превосходит прочность раствора на чистом портланд-цементе на 32%.

В абсолютном выражении прочность состава 1 : 3 при годичном хранении во влажном состоянии достигла 455 кг/см^2 и в сухом состоянии — 528 кг/см^2 .

При замене 40% вяжущего диатомитом прочность подучается равной прочности раствора из чистого портланд-цемента, и лишь при дальнейшем повышении диатомитовой добавки начинается довольно резкое падение прочности.

Интересные результаты дало также испытание известково-диатомитовых растворов.

Оптимальные составы этих растворов получились при содержании диатомита в пределах 40—60% от вяжущего. При этом прочность превысила прочность известкового раствора в 5 раз и достигла через год 120 кг/см^2 при сухом хранении и 195 кг/см^2 — при влажном хранении.

Несмотря на хорошие результаты, полученные с диатомитовой добавкой, и наличие диатомита в районе работ, строительству все же пришлось отказаться от его применения по той причине, что применение диатомита непосредственно на стройплощадке не давало гарантии достаточной однородности цемента, а перевозка диатомита на цементный завод обходилась бы очень дорого, так как пришлось бы сначала подвозить его на расстояние 10—15 км до ж. д. и затем на 40 км возить по ж. д.

Поэтому строительство, как отмечалось уже выше, предпочло выбор в качестве добавки пемзовой пыли, составляющей отвал три разработки пемзового орешка, и кусковой пемзы в карьерах у станции Ани. Отсюда возможна перевозка пемзы на завод непосредственно по ж. д.

От добавки к цементу небольшого количества извести, что рекомендовалось с точки зрения прочности и морозостойкости, строительство отказалось, не желая осложнять производство, с одной стороны, но, главным образом потому, что в местах сооружения встречаются углекислые воды и гипсоносные породы, содержащие, при растворении гипса ионы серной кислоты, разрушительно действующие на бетонную облицовку. Химическая же стойкость бетона при добавлении извести должна ухудшиться.

Пропорция портланд-цемента марки «00» к пемзовой (пуццолановой добавке) установлена 1 : 1 по объему. Такой пуццолановый цемент уже изготовлял Канакирстрое Давалинский цементный завод (Армения).

Этот цемент следует применять во всех гидротехнических сооружениях, в том числе и в облицовке тоннеля и канала при условии, что работы производятся минимум за 2 месяца до наступления морозов.

§ 6. Принятые дозировки с характеристикой инертных и их гранулометрического состава и качества бетона ¹⁾

Отличительной чертой уложенных бетонов является затворение их на обычном портланд-цементе марки «00» Давалинского и частично Каенского цементного завода.

¹⁾ Этот раздел очерка не может быть полон в силу того, что бетонные работы на Канакирстрое еще не были закончены, а материал еще не был окончательно систематизирован. *Ред.*

Пуццолановый цемент до сих пор изготовлялся на Давалинском цементном заводе лишь в небольшом количестве и применялся только в тоннеле.

В табл. 15 приводится характеристика прочности давалинского портланд-цемента, который в настоящее время является единственным вяжущим, применяемым на строительстве.

Таблица 15

Время схватывания и прочность давалинского портланд-цемента

Лабораторный № образца	Время схватывания		Консистенция в % воды смеси	Временное сопротивление разрыву		
	начало	конец		4 дня	7 дней	28 дней
431	2.30	5.45	24,5	34	39	40
436	—	—	24,5	30	58	73,5
442	—	—	24,5	34	43	75
448	—	—	24,5	50	60	68
452	—	—	24,5	30	37	50
456	2.20	5.10	25	30	36	45
472	2.05	6.30	25	36	40	77,5
478	6.40	8.40	25	23	43	72
486	3.00	4.15	25	35	50	61
511	—	—	26	46	56	60
516	—	—	26	50	55	57
521	2.50	4.45	26	44	59	60
526	2.50	6.30	26	41	50	50
534	—	—	26	50	50	58
537	—	—	26	50	63	60
543	—	—	26	53	51	51
548	—	—	26	48	56	65

Из этой таблицы видно, что прочность давалинского портланд-цемента, так же как и время схватывания, еще не вполне установились и наблюдаются большие отклонения в ту и другую сторону на отдельных образцах. Вообще же давалинский портланд-цемент должен быть характеризован как, цемент высокой активности.

Таблица 16

Влияние цементно-песочного фактора на сопротивление цементного теста

с w	Временное сопротивление разрыву в кг/см ³	
	через 7 дней	через 28 дней
1,0	11,4	15,1
1,3	11,5	16,3
1,0	15,0	20,1
2,0	17,7	28,0
2,2	18,9	29,0
2,5	25,5	31,6
3,0	35,0	40,1
3,5	40,5	47,7
4,0	40,3	49,6

Для выявления влияния цементно-водного фактора на прочность цементного теста был проделан ряд опытов. Опыты эти относятся к 1932 г. и были проделаны не с давалинским, а с каспеским цементом, тем не менее можно считать, что результаты их могут быть распространены на любой цемент.

Цементно-водный фактор брался от 1 до 4. Результаты испытания приведены в табл. 10.

Результаты эти весьма характерны и указывают на то, что прочность цементного теста возрастает почти пропорционально цементно-водному фактору.

Испытания эти были произведены с целью облегчения подбора, консистенции бетона.

Цементно-водный фактор, само собой разумеется, влияет не только на прочность, но и на водонепроницаемость. Из всей воды, добавляемой для затворения, в химическую реакцию с цементом вступает только доля, составляющая от 0,1 до 0,2 по весу от цемента. Остальная вода, требуется лишь да производственных соображений для получения соответствующей консистенции.

Эта вода при твердении бетона постепенно испаряется, оставляя в бетоне поры, нарушающие его плотность; обстоятельство, играющее существенную роль в гидротехническом бетоне.

При больших открытых поверхностях и малой толщине бетона, какая встречается, например, в облицовках гидротехнических каналов, большое значение имеет усадка бетона, особенно сильно проявляющаяся при невнимательном уходе за свежееуложенным бетоном. Для того чтобы выявить влияние этого фактора, в лаборатории строительства были проведены специальные опыты с образцами, хранившимися 7 дней в воде и после этого в течение нескольких часов на открытом воздухе. При этом обнаружилось катастрофическое падение временного сопротивления растяжению образцов, пролежавших на воздухе, вследствие образования усадочных волосяных трещин.

Результаты этих опытов приведены в табл. 17.

Часовое лежание на воздухе еще не дало заметного уменьшения прочности, но уже трехчасовое пребывание резко отразилось на прочно-

Таблица 17'

Лабораторный № образца	Время хранения на воздухе и часах						
	0	0,5	1	3	6	9	12
77	48	41	45	16	13		
78	49	64	57	17	14	—	—
79	53	47	28	25	21	—	—
80	61	55	29	23	11	—	—
81	52	45	55	41	18	—	—
123	47	51	26	21	13	—	—
124	35	54	40	39	25	—	—
125	47	44	23	12	19	—	—
126	44	47	37	31	26	—	—
170	49	45	48	20	20	20	20
171	48	44	51	50	16	26	23
172	36	51	41	40	30	18	22
173	45	28	37	44	31	33	19
174	45	51	52	50	25	16	17

ста образцов, которая продолжает падать примерно до девятичасового воздушного хранения.

В исполненных бетонных сооружениях применялся речной песок из долины р. Араке (эчмиадзинский и камерлинский карьеры) и искусственный песок, получаемый путем дробления базальта.

Кривые грануляции этих песков отдельно и при смещении лоаозшы на рис. 3 и 4. Из их рассмотрения видно, что смешение с добавлением искусственного песка до 50% дает хороший гранулометрический состав, вполне пригодный для гидротехнических сооружений. В силу этого, а также на основании проведенных испытаний на прочность, строительным участкам и дано разрешение пользоваться искусственным песком в пределах до 50% от общего количества песка в растворе, при обязательном контроле составов со стороны полевых лабораторий.

В настоящее время применяются следующие составы бетонов:

В напорной камере:

щебня	770 л
песка	462 "
портланд-цемента	270 кг
воды	192 л
цементно-водный фактор	1.41

В железобетонных колоннах здания станции:

щебня	752 л	щебня	752 л
песка	452 "	песка	452 "
портланд-цемен- та	300 кг	портланд-цемен- та	280 кг
воды	172 л	воды	164 л
цементно-водный фактор	1.75	цементно-водный фактор	1.71

В подкрановых балках здания станции:

щебня	728 л
песка	533 "
портланд-цемента	300 кг
воды	213 л
цементно-водный фактор	1.41

Все бетоны составлены на базальтовом щебне и на песке, в большинстве случаев представляющем смесь и» 50% речного и 50% искусственного, приготовленного из базальта.

Для уточнения составов бетона; для облицовки деривационного канала толевым лабораториям преподаны технические условия, ¹⁾ которые должны лечь в основу проектирования составов.

В технических условиях предусматривается возможность применения обыкновенного портланд-цемента, на участках, где нет агрессивных вод. там же, где они есть — применение пуццоланового цемента обязательно. Песок, допускается так. речной, так. и смешанный с искусственным.

Принимая во внимание толщину облицовки в 10 см, крупность щебня ограничивается 40 мм, исходя из тех соображений, что если две щебенки попадут друг на друга, то оставалось бы еще по 1 см раствора с каждой стороны.

Для облицовки канала, могут быть применены следующие бетоны см. ТУ):

¹⁾ Технические условия на проектирование состава бетона для деривационного канала Канакирской ГЭС.

1. Бетон на портланд-цементе:
 - а) на естественном песке.
 - б) на смеси искусственного и естественного песка.
2. Бетон на пуццолановом портланд-цементе:
 - а) на естественном песке,
 - б) на смеси искусственного и естественного песка.

Примечание. Под пуццолановым портланд-цементом понимается специально заводским способом изготовленный цемент с добавкой пуццоланы.

1. Бетон на портланд-цементе, с естественным песком:
 - а) количество цемента 280 кг/м³ при марке «00» и выше при других марках,
 - б) крупность щебня не более 40 мм.
 - в) водоцементный фактор не более 0,65.
 - г) рекомендуется применение пылевидных отощателей в количестве до 20% от веса цемента.
2. Бетон на портланд-цементе на смеси искусственного и естественного песка:
 - а) количество цемента от 200 до 300 кг при марках «00» и «000»,
 - б) крупность щебня не более 40 мм,
 - в) количество искусственного песка не более 50% от общего количества смеси песков. Рекомендовать применение смеси, дающей наименьшее количество пор,
 - г) водоцементный фактор не более 0,70.
3. Бетон на пуццолановом портланд-цементе также может быть на естественном или смешанном песке с количеством цемента от 280 до 300 кг/м³.
4. Консистенция (бетонов должна быть такова, чтобы обеспечивать по возможности укладку бетона на откосе 1 : 1 без форм.
5. Основное свойство бетона должно заключаться в возможно меньшей водопроницаемости, а также наибольшей морозостойкости.
6. В отдельных случаях на мергельных участках с наличием агрессивных вод должны по возможности применяться исключительно пуццолановые портланд-цемента.

§ 7. Организация бетонных работ на строительстве

По своему объему и значительной протяженности наибольший интерес представляет организация бетонных работ на канале и в тоннелях.

Согласно проекту производства работ для осуществления бетонных работ на канале организуются небольшие бетонные заводы непосредственно у бровки канала на расстоянии 1 км друг от друга. Такой бетонный завод должен обслуживать отрезки канала по 500 м в ту и другую сторону.

При заводе, который состоит из двух бетоньерок (одной работающей и одной резервной), располагается склад цемента, щебня и песка. Емкость склада обеспечивает суточную потребность завода. Основной склад цемента располагается на территории базисного склада строительного участка в рабочем поселке.

Таких складов, соответственно числу строительных участков, имеется четыре.

Основные склады щебня и искусственного песка расположены непосредственно в местах их выработки и, следовательно, приурочены к отвалам камня или естественным его россыпям.

Подвозка цемента, щебня и песка к бетонному заводу производится на арбах по дороге, устроенной на отвалах по правой бровке канала.

Подвозка готового бетона от бетонного завода к месту его укладки проектируется в вагонетках по узкоколейному пути.

Из вагонетки бетон попадает по лоткам в опалубку откоса канала, где для большей плотности штыкуется рабочими, а затем подвергается вибрации через опалубку.

Откосы канала имеют заложение 1:1, и потому бетонирование без опалубки было бы возможно лишь с помощью машины Динглера по укладке бетона па откосах, которой в распоряжении строительства не имеется.

Поэтому мной совместно с инж. Г. З. Саркисян и М. П. Петросян разработан простой способ бетонирования при помощи подвижной опалубки, показанной на рис. 8.

На 2 спаренных узкоколейных платформах устанавливается рамная конструкция, наклон укосин которой соответствует откосу канала. Конструкция эта уравновешена на платформах противовесами.

На наружной поверхности укосин сделаны пазы, которые замыкаются уголками, одна грань которых установлена заподлицо с наружной гранью укосины. В эти пазы могут быть заведены опалубочные щитки через специальные прорезы в боковых гранях укосин. Щитки закрепляются на месте продольными клиньями, загоняемыми в паз.

Через 2 часа после бетонировки и уплотнения бетона вибраторами клинья могут быть выбиты, щитки вынуты и подвижная опалубка при помощи катков и червячных винтов отодвинута от откоса, а затем передвинута по рельсовому пути на следующее место.

Для хождения рабочих по укосинам укладываются горизонтально доски, с которых может быть произведено штыкование бетона.

Предположенные к применению пневматические вибраторы имеют простейшую конструкцию (рис. 9), разработанную в проектно бюро Канакирстроя по типу, примененному инж. Аваковым на Днепрострое. Эти вибраторы изготовлены были Ереванским механическим заводом. После снятия опалубки за бетоном должен быть установлен тщательный уход в течение одного месяца при применении портланд-цемента и 2 месяцев — при пуццолановом цементе, с покрытием бетона соломой, рогожами или мешками для предохранения от солнечных лучей и поддержанием его во влажном состоянии.

Температурные швы в облицовке устраиваются поперечные через 5 м друг от друга. Шов образуется стопленной в бетон доской (рис. 10). В каждой такой секции облицовки сначала бетонировются откосы, а вслед за ними дно. Для уплотнения дна применяется ручное трамбование или вибрирование.

Облицовка тоннеля бетонировается секциями по 6 м.

Объем бетона в такой секции составляет в мергельных грунтах 96 м³ и на скальных участках от 60 до 70 м³.

Бетонные заводы установлены у порталов тоннеля и у порталов боковых штореков.

С целью возможности производить бетонировку в зимнее время, бетоньерки устанавливаются в утепленном помещении, где помещаются также котлы для подогрева воды. Подогрев воды необходим ввиду того, что составные части бетона будут поступать в зимнее время в замороженном состоянии, а температура смеси должна быть поднята до 12° С.

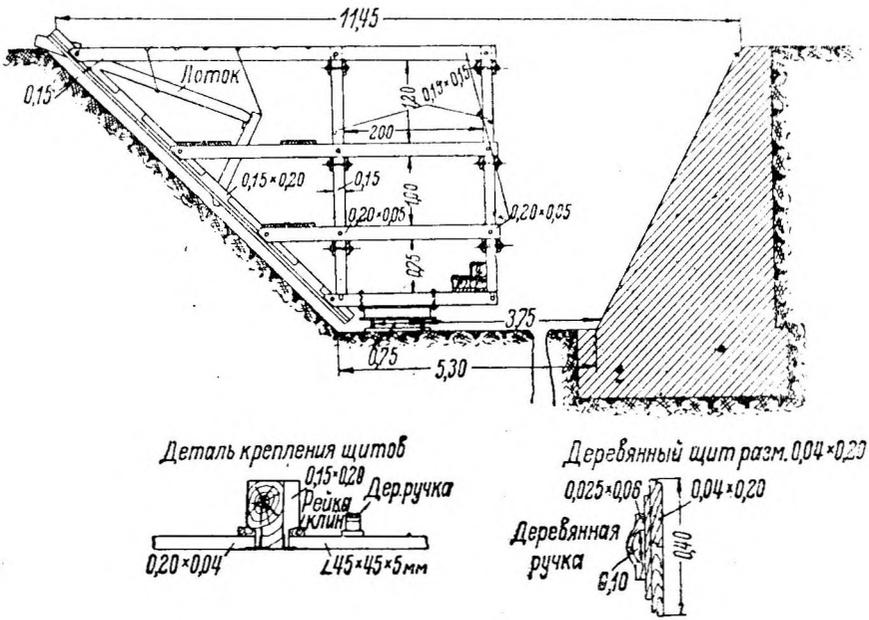


Рис. 8. Передвижная опалубка для бетонировки откосов канала.

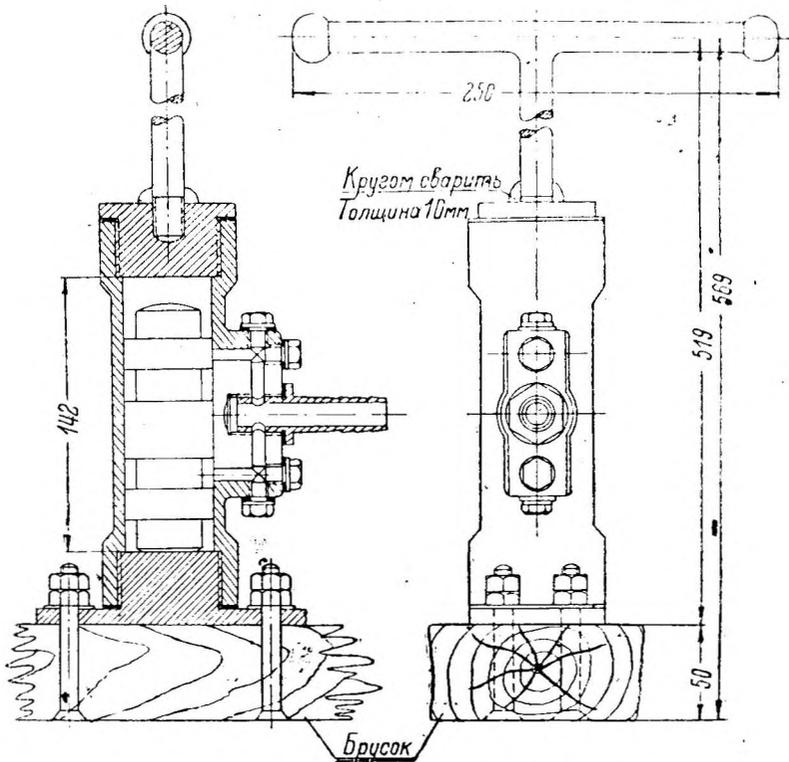


Рис. 9. Вибратор для облицовки канала.

При этом условии с учетом охлаждения бетона при транспортировке температура на месте работ получается не ниже 5°C , что вполне приемлемо для нормального твердения, так как температура в тоннеле благодаря экзотермическому процессу не спускается ниже $15\text{--}20^{\circ}$, а иногда достигает даже $30\text{--}35^{\circ}$. Во время твердения происходит значительное повышение температуры бетона. Подсчеты показали, что уже через сутки температура достигает $7,5^{\circ}$, через двое суток — 11° , а через 14 суток — $14,7^{\circ}\text{C}$.

С точки зрения производства работ представляют интерес на Канакирстрое работы по инъекции цемента в фундамент плотины.

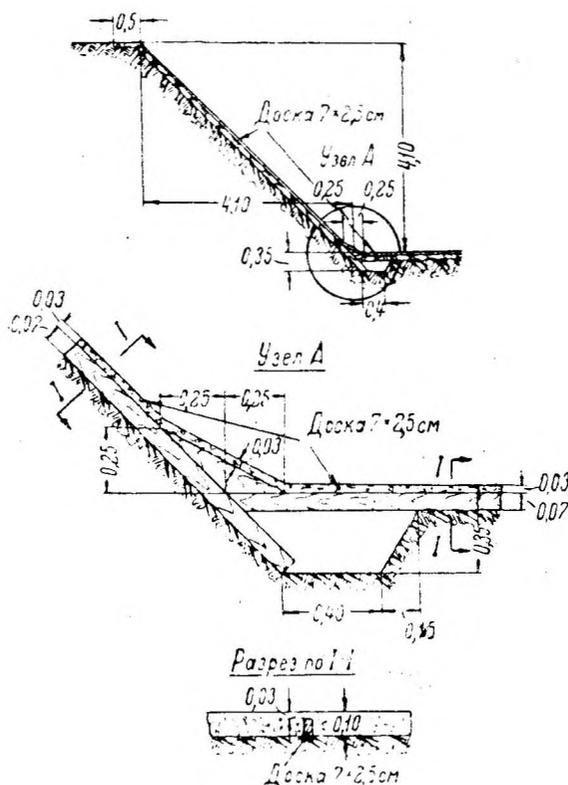


Рис. 10. Температурный шов на канале.

Работа эта производилась при помощи специального аппарата, изготовленного по нашим чертежам в мастерских Канакирстроя. Аппарат изображен на рис. 11.

Состоит он из нагнетательной трубы с внутренним диаметром 31 мм. к нижнему концу которой привинчен манжет. Нагнетательная труба заключена в направляющую трубу с внутренним диаметром 40 мм. На нижнем конце направляющей трубы приклепана стопорная планка, которая упирается в шайбу. Шайба зажимает сверху уплотняющее кольцо из просмоленной пакли, ниже которого расположена еще одна шайба. Затем следует короткий патрубок и еще одно уплотняющее кольцо

Приспособление состоит из 2 горизонтальных обойм с винтовыми отверстиями по краям, через которые пропускаются винты. В средней части обойм имеются отверстия для пропуска инъекционной трубы. Эта труба наглухо скреплена с верхней обоймой. В нижнюю обойму упирается и скреплена с ней направляющая труба.

Пропущенные через края обойм винты имеют двустороннюю нарезку и в средней части утолщение с отверстием для рычага.

При одновременном повороте обоих рычагов достигается опускание направляющей трубы и подтягивание инъекционной, вследствие чего зажимаются уплотняющие кольца.

При обратном направлении вращения нажим на уплотняющие кольца прекращается, и аппарат может быть извлечен из скважины.

Нагнетание при помощи этого аппарата предполагается производить в две зоны: сначала в гравелистое основание плотины, чем достигается кислотоупорный защитный покров толщиной около 0,5 м, и затем непосредственно в бетонную кладку нижней части плотины с целью ее уплотнения и повышения ее химической стойкости.

Это «лечение» плотины произведено специальным кислотоупорным брянским цементом, применяемым в смеси с раствором жидкого стекла, о чем подробнее было изложено раньше (стр. 129). Скважины расположены в шахматном порядке с расстоянием между ними по диагонали 1,2 м.

Глубина скважин, от 2 до 5 м. Цемент нагнетался под давлением 4—5 ат через специальный инъекционный аппарат.

§ 8. Полевой контроль бетона

Для осуществления контроля за качеством бетона и выработки точной рецептуры применительно к имеющимся отощателям, цементу, условиям производства работ, температуре и т. п. на каждом строительном участке организована бетонная лаборатория. В обязанности лаборатории входит также контроль каждой партии получаемого цемента, который проверяется в отношении сроков схватывания и равномерности изменения объема.

При пользовании цементом нового Давалинского завода, производство на котором еще не вполне установилось, эти испытания должны производиться особенно тщательно, так как бывали партии цемента, которые схватывались через 5—10 мин., а также случаи, когда опытные лепешки обилием трещин указывали на полную неравномерность объема.

Иногда это объяснялось невылежностью цемента, и после вылеживания в течение 2 недель он приобретал нормальные свойства.

Заполнителя контролируются в отношении их гранулометрического состава и влажности.

Дозировка инертных как крупных, так и мелких производится по объему в мерных тачках.

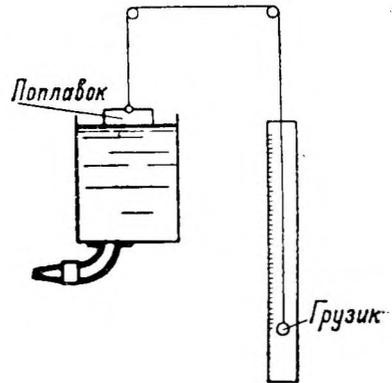


Рис. 12. Поплачковое приспособление для дозирования воды.

Дозировка цемента производится мерными ящиками.

Дозировка воды осуществляется мерным бачком с поплавком, как показано на рис. 12.

Требуемый состав бетона, задается построечной лабораторией на основе имеющихся у нее инструкций и опытных данных, причем в последующем лаборатория проверяет фактическое исполнение заданного ею состава. Из рабочих замесов возводимого сооружения, т. е., помещаются рядом с уложенным бетоном и подвергаются тому же уходу, что и кладка.

В обязанность лаборатории входит также и контроль ухода за бетоном в течение всего периода твердения и наблюдение за выполнением инструкций по зимнему бетонированию.

§ 9. Заключение

Быстро развивающееся в Советском Союзе гидротехническое строительство и большие объемы бетонных работ, являющиеся специфической особенностью гидротехнических (Сооружений, требуют в интересах народного хозяйства самого тщательного изучения гидротехнического бетона и методов его подбора. И надо отметить, что, несмотря на достаточно полную изученность бетона как строительного материала для надводных сооружений, в области гидротехнического бетона ряд вопросов остается еще недостаточно проработанным.

Дополнительными требованиями, предъявленными к гидротехническим бетонам, являются: водонепроницаемость, морозостойкость и, в отдельных случаях, стойкость против истирания и агрессивного воздействия вод. Вместе с тем требования в отношении временного сопротивления обычно могут быть снижены ввиду небольших нагрузок на 1 см^2 .

В соответствии с измененными требованиями но отношению к гидротехническому бетону должны быть пересмотрены также методы подбора состава бетона и его укладки.

Водонепроницаемость, морозостойкость и химическая стойкость бетонов, невидимому, являются функцией его плотности, т. е. как раз того качества, которое не играло решающей роли в бетоне надземных сооружений.

Все авторитеты по подбору состава бетона от Абрамса до Беляева и Скрамтаева до сих пор в основу расчетов клали конечную прочность бетона, а не плотность его.

Подобранный таким способом состав, обеспечивая прочность бетона, не гарантирует его долговечности.

Плотность бетона для гидротехнических сооружений не может быть достигнута только повышенным расходом цемента. Если увеличение цемента не сопровождается специальным подбором отощателей, обеспечивающим минимум пор, то избыток цемента только увеличит количество свободной извести, которая будет растворена просачивающейся водой и вынесена из кладки, что ускорит разрушение бетона.

Особенное внимание при подборе состава гидротехнического бетона следует уделять также выбору водоцементного отношения, которое в данном случае интересует нас не как гарантия определенной прочности, но как фактор, обеспечивающий ту или иную плотность бетона. Действительно, чем ниже водоцементное отношение, тем меньше излишек воды,

который во время процесса твердения испаряется, оставляя в бетоне пустоты и поры, понижающие его водонепроницаемость.

Однако тут же отметим, что водоцементный фактор, обуславливающий также и консистенцию, может затруднить плотную укладку бетона, если он выбран слишком низким, и тем самым ухудшить его гидротехнические свойства.

Применение низких водоцементных факторов (0,3—0,4) для достижения плотных водонепроницаемых бетонов в последнее время стало возможным при использовании для его укладки вибраторов, позволяющих пускать в дело бетоны с ничтожным опльвом (2—3 см).

Следовательно, необходимо стремиться к бетонам платным с минимальным водоцементным отношением и минимальным количеством свободной извести. Последнее достигается путем гидравлических добавок, химически связывающих свободную известь, и путем уменьшения цементного теста при хорошем гранулометрическом подборе отощателя. Происходящее при этом понижение прочности бетона обычно не имеет значения для гидротехнических сооружений.

Подбор отощателя должен быть произведен из расчета минимального объема пустот и удельной поверхности.

Необходимо рекомендовать применение камневидной добавки предельной крупности до 20 см, если это позволяет минимальная толщина готового бетона, так как этим обеспечивается минимум фильтрационных путей.

Наряду с этим большую пользу может оказать и добавка пылевидных частиц в определенном проценте, также повышающих водонепроницаемость бетона.

Для получения плотного бетона подбор его состава играет решающую роль. Это положение нашло свое отражение в методе подбора составов, разработанном ЗИСом. Поэтому Канакирстрой в своей практической работе по подбору составов бетона и остановился именно на этом методе.

ЗИСовский метод проектирования состава бетона представляет собой синтез методов Сафира и Ферре. От Сафира взята мысль о физическом заполнении пустот и об определенном коэффициенте их заполнения.

ЗИС пополнил это положение зависимостью прочности цементного камня от $\frac{W}{C}$ и степени уплотнения пылью.

Метод ЗИСа не только позволяет проектировать бетон заданной прочности и быть уверенным в его плотности, но и достигнуть ее при минимальном расходе цемента.

Проектирование состава бетона в таких случаях рекомендуется вести сразу на объем пустот всего отощателя, который предварительно составлен в оптимальном соотношении щебня и песка. Коэффициенты заполнения пустот принимаются в зависимости от ответственности до 1,7, обеспечивая этим достаточную плотность состава.

Следует однако отметить, что до сих пор единой методологии в подборе состава гидротехнического бетона не существует, и проектирование состава бетона часто производится но принципам крайне противоположным.

Так например, в противоположность методу ЗИСа, для увеличения плотности рекомендуются повышения расхода цемента. Гидравлические добавки, которые дают возможность снижать расход портланд-цемента, часто рассматриваются лишь как «добавки», не влияющие на расход цемента, и т. д.

Все это указывает на то, что в результате недостаточного изучения гидротехнических бетонов, не установилось еще среди гидротехников единодушного мнения о принципах его проектирования, и каждое строительство идет своими путями, часто повторяя уже проделанные ошибки.

Недостаточно изучены также искусственные пески, всевозможные активные гидравлические добавки и пылевидные составляющие, а между тем всем этим материалам предстоит сыграть крупную роль в гидротехнических бетонах.

Поэтому теперь же, без промедления, наши научно-исследовательские институты, и в первую очередь НИИГ, должны вплотную заняться теоретическим и практическим изучением гидротехнических бетонов и обеспечить строительства, инструкцией для подбора состава, которая облегчит их усилия в достижении высококачественных бетонов.

Инж. Н. Ф. ХОЦИАЛОВ

Б Е Т О Н С В И Р Ъ С Т Р О Я

Настоящий труд посвящен описанию бетонных работ, производившихся при постройке Нижнесвирской гидроустановки. При изложении автор старался не затруднять внимания читателя сведениями и положениями, уже в достаточной мере известными; например, при изложении методики подборов бетонных пропорций скупы освещены опыты, связанные с прочностью и пластичностью бетона, так как относящиеся сюда вопросы за прошлые годы в большой мере выяснены и преимущественное внимание отдано плотности бетона, области еще мало разведанной. Поскольку автор являлся сотрудником Волховстроя, Днепростроя и Свирьстроя, он при выполнении данной работы имел возможность привести некоторые параллели по этим трем гидротехническим гигантам.

По своему содержанию труд распадается на пять глав. В первой главе сообщаются сведения общего характера по Нижнесвирской гидроустановке. Во второй главе дается описание механизации бетонных работ Свирьстроя, причем преимущественное внимание уделяется устройствам бетонного хозяйства, оригинального по замыслу и интересного по производственному опыту. В третьей главе приводятся сведения о цементе и инертных материалах и освещается работа, проведенная в отношении подбора состава бетона. Тут же автор останавливается на особенностях укладки пластичного бетона и на некоторых обстоятельствах, связанных с объемными изменениями бетона.

Четвертая глава посвящена зимней укладке бетона и некоторым выводам, полученным благодаря произведенным обширным, и систематическим наблюдениям в полевой обстановке. Пятая глава содержит описание свирского опыта укладки бетона с вибрированием. Отметим, что Свирьстрою принадлежит начинание широкого производственного применения вибраторов в массивных сооружениях.

Читателя, желающего более подробно ознакомиться с проектными данными по бетонным сооружениям Свирьстроя, а также с производственными обстоятельствами, не затронутыми настоящей работой, автор отсылает к «Сборникам материалов по сооружению свирских гидроэлектрических силовых установок» и другим изданиям строительства.

Глава I

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Река Свирь является важнейшим участком двух мощных водных магистралей СССР, первая из которых соединяет Балтийское море с Волгой, а вторая Балтийское море с Белым. Свирь отличается многочисленными порогами, значительно затрудняющими судоходство. Река обладает мощным природным регулятором в виде Онежского озера и протекает вблизи г. Ленинграда, крупнейшего промышленного центра. Судоходные и энергетические выгоды гидротехнических сооружений на реке Свири ясны были издавна, но реализуются они только за последнее время.

Советским правительством утверждены к постройке две гидроцентрали на реке Свири: Нижнесвирская и Верхнесвирская (рис. 1).

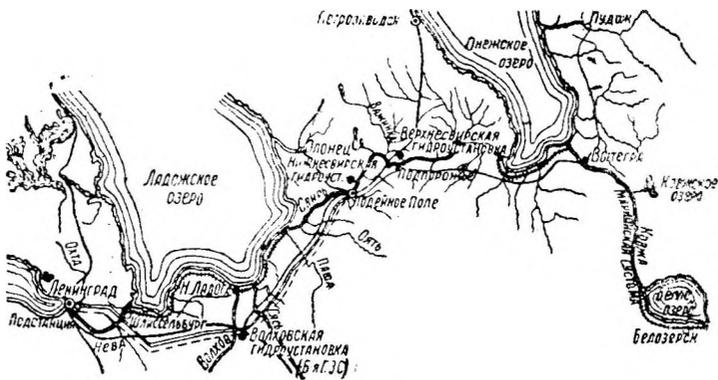


Рис. 1. Схема использования энергии р. Свири и р. Волхова.

Первая из них уже построена, благодаря чему для Ленинграда создан мощный и надежный источник дешевой электрической энергии и попутно значительно облегчены условия судоходства. Верхнесвирская гидроустановка находится в постройке.

Нижнесвирская установка, о которой и будет говориться в настоящем труде, расположена на 143-м км р. Свири: статический напор на гидроустановке равен 10,5 м, максимальная установленная мощность турбин 175 000 ЛС, годовая отдача электроэнергии около 500 млн. квт-ч. Установка известна среди широких технических кругов под наименованием Свири III в соответствии с местом, занимаемым ею в первоначальном трехплотинном варианте шлюзования р. Свири.

С принципиально строительной точки зрения Свирьстрой представляет большой интерес и должен занять особое место в истории нашего строительства. Волховстрой, пионер крупного гидротехнического строительства СССР, и Днепрострой, крупнейшее гидротехническое сооружение мирового масштаба, — оба были основаны на скале. Свирьстрой является первым нашим опытом постройки крупной гидроцентрали на слабых грунтах. Под свирскими сооружениями залегают девонские глинисто-песчаные слои. Эти слои различны по составу и степени плотности. Среди них находятся размягченные глины, к которым

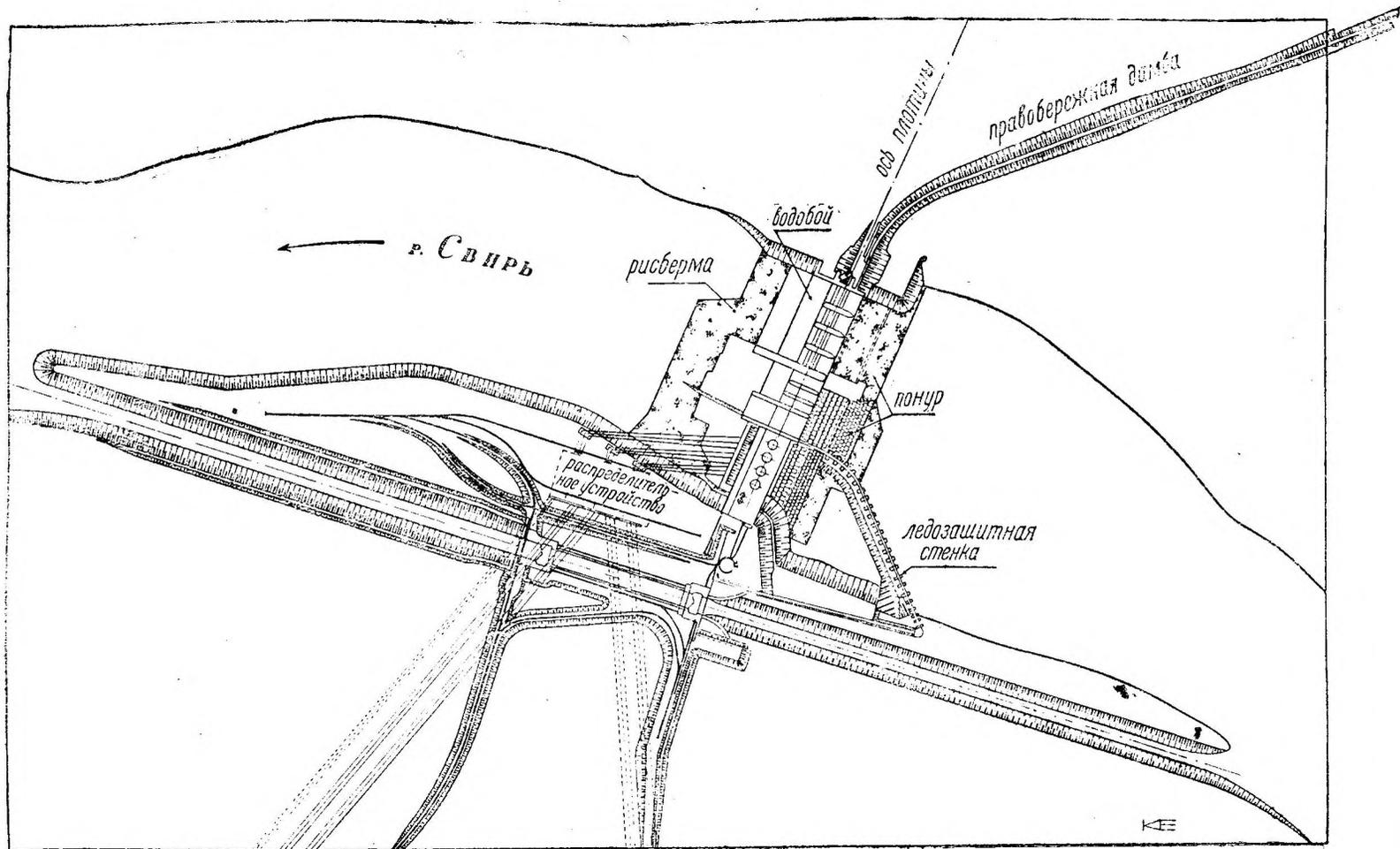


Рис.2. План сооружений Свирыстроа.

имеется доступ напорных подземных вод. Специфические затруднения, проистекавшие от грунтов, отражались в мнениях мировых специалистов по грунтам и представителей известных заграничных строительных фирм и, в частности, в том разное, который наблюдался в суждениях о способах производства работ на Свирьстрое. В мировой практике известны случаи возведения Гидротехнических сооружений на слабых грунтах с напором в 10—12 м. Но исключительно трудные грунтовые условия Свирьстроа, побежденные советскими инженерами, не имеют, по-видимому, прецедента в мировой практике, и, само собой понятно, предъявляют особо строгие требования к свойствам бетона.

Расположение сооружений на р. Свири представлено на рис. 2 и 3. К правому берегу примыкает плотина; непосредственно к плотине — силовая станция, которая расположилась по длине в одну линию с плотиной. Силовая станция имеет ледозащитную стенку. На правом берегу продолжением плотины является земляная дамба протяжением около 1 км. Шлюз расположен на левом берегу в деривационном канале и соединен с силовой станцией и берегом металлическим шпунтом, причем шпунт находится со стороны силовой станции в бетонном ядре, а со стороны берега в земляном ядре.

Плотина Свирьстроа является распластанной гравитационной плотиной (рис. 4). Она имеет понур, который состоит из железобетонной плиты, покрытой слоем грунта и соединенной с телом плотины гибким шарниром. С низовой стороны плотина имеет продолжение в виде бетонного водобоя и рисбермы. Под всей подошвой плотины укладывается фильтр для обора воды, просачивающейся сквозь толщу девона, и фильтрующей напорной воды из реки. Дренажный слой высотой 65 см состоит из трех слоев: нижний из мелкого песка, средний из более крупного песка и третий из гальки. Плотина раздельным быком делится на две части: левую и правую. В левой части расположены четыре глубоких отверстия, из них три с щитовыми затворами и один, ближайший к силовой станции, секторный. Тело плотины покоится на сплошной мощной армированной плите. Поперечная разрезка температурными швами идет вверх, начиная от плиты (с отм. + 4,57 м). Расстояние между температурными швами 10—13 м. Отсутствие разрезки плиты обеспечивает избежание перекосов отдельных частей плотины из-за неравномерной просадки грунта и вытекающей отсюда угрозы механизмам затворов. Чтобы облегчить работу железобетонной плиты, между отдельными частями плотины задавались специальные швы раздельного бетонирования, которые бетонировались после окончания основной осадки отдельных частей.

Здание силовой станции (рис. 5) помещается так же, как и тело плотины, на неразрезной плоской железобетонной плите, которая подстилается фильтром. С верхней стороны к силовой станции примыкает, как на плотине, гибкий понур с засыпкой грунтом сверху. С низовой стороны здание силовой станции подпирается упорным массивом, одновременно предохраняющим дно реки от размыва. Температурные швы с отм. +6,0 со стороны нижнего бьефа и с отм. +8,0 со стороны верхнего бьефа делят здание силовой станции на 5 секций. Расстояние между швами 19—28 м. Более легкая шестая секция (примыкание к берегу) отделяется от основного массива силовой станции сквозным швом до основания (отм. —10,00). Стена машинного зала с низовой стороны и перекрытие его возведены из сборных железобетонных частей. Применение сборного железобетона для сооружения каркаса машинного

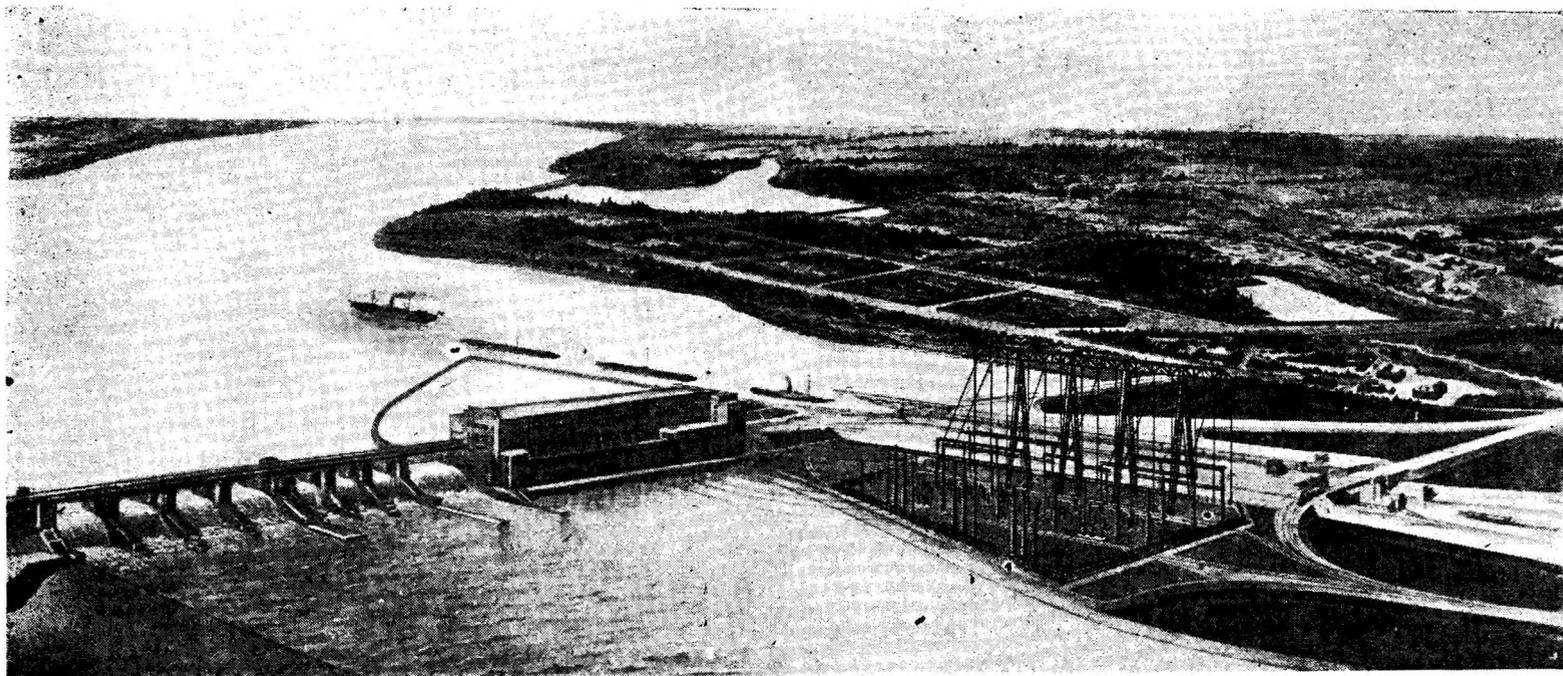
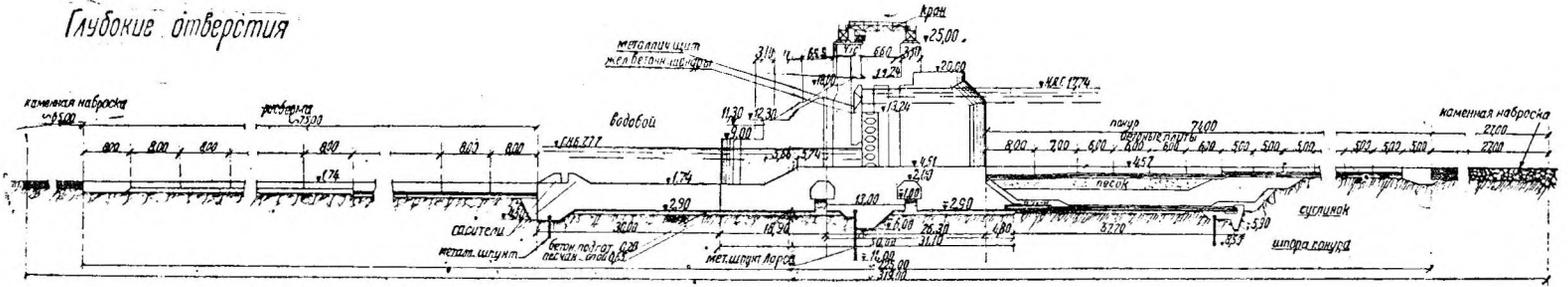
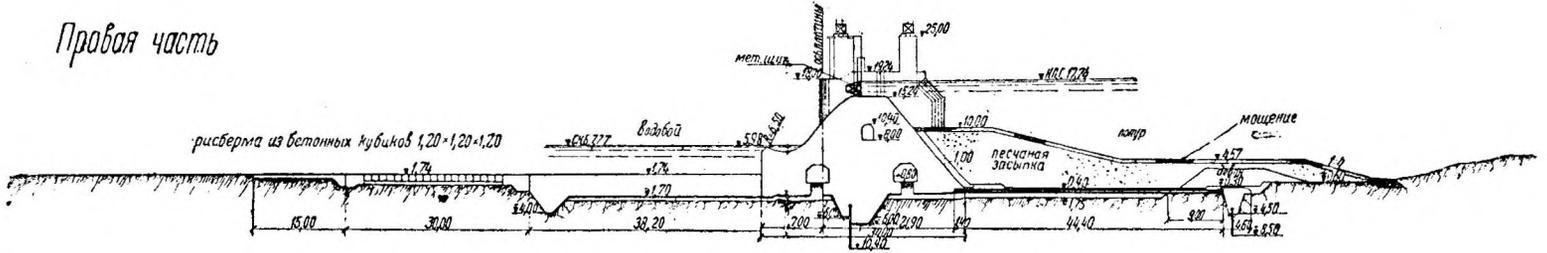


Рис. 3. Перспективный вид нижнесвирских сооружений.

Глубокие отверстия



Правая часть



Секторный пролет

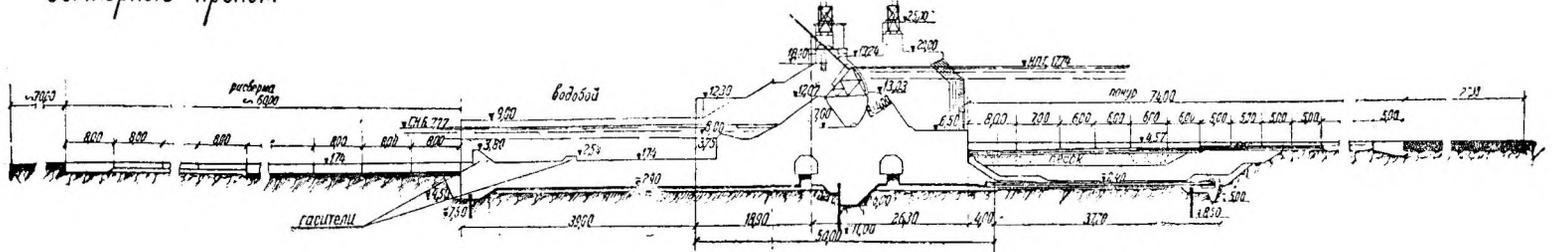


Рис. 4. Поперечные разрезы плотины.

зала дало большую, по сравнению с металлическим каркасом, экономию в железе и явилось первым опытом возведения конструкции подобного рода в гидротехническом строительстве СССР (пролет в свету 18,5 м и высота около 14 м). На станции 4 агрегата с турбинами Каплана мощностью каждая 42 000 ЛС и два вспомогательных агрегата также с турбинами Каплана мощностью по 3500 ЛС. Ледозащитная стенка выполнена, как железобетонная конструкция, из однопролетных жестких рам с консолями.

Камера шлюза имеет две симметричные армированные: стенки, которые по дну шлюза, продолжены в виде консолей. Вдоль камеры шлюза, посередине получается шов, уплотненный досчатой прокладкой. По длине камера делится осадочными швами на 5 секций,

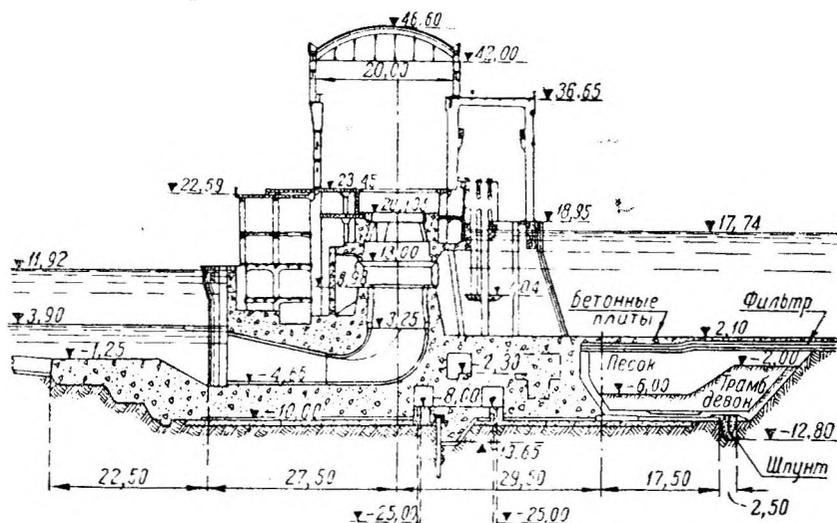


Рис. 5. Поперечный разрез силовой станции по оси главного агрегата.

длиной каждая 36 м. Кроме того, имеются температурные швы, которые прорезывают лишь верхние части стенок. Расстояние между температурными швами около 12 м. Нижняя голова, сооружалась путем независимого (не на общей плите) возведения стенок и днища, и получившиеся швы были заделаны впоследствии. Верхняя голова сооружения имеет под собой сплошную фундаментную подушку.

Для характеристики произведенных работ на Свирьстрое по месту работ на р. Свири приводим такие цифры:

бетона уложено.....	около 560 000 м ³
земляных работ произведено:	
выемок около.....	4,5 млн. м ³
насыпей „.....	2 „ „

Глава II

МЕХАНИЗАЦИЯ БЕТОННЫХ РАБОТ

При описании механизации бетонных работ по преимуществу остановимся на бетонном хозяйстве, так как бетонное хозяйство Свирьстроа отличалось целым рядом интересных и оригинальных особенно-

стей, и так как среди элементов механизации бетонных работ на больших гидростройках наибольшее значение принадлежит как раз механизмам бетонного хозяйства. В отношении дерриков, арматурных и опалубочных мастерских, бетонного двора и лесопильного завода дадим самые необходимые и краткие сведения. Соответствующие устройства имеют большое распространение и в достаточной мере общеизвестны.

Над проектированием устройств бетонного хозяйства работали исключительно советские инженеры и им удалось отыскать вполне оригинальное и удачное решение, вызвавшее к себе неизменный и усиленный интерес со стороны посещавших стройку советских и иностранных инженеров.

Бетонное хозяйство Свирьстроя являлось мощным и сплошь механизированным цехом и состояло из промывных устройств с насосной станцией и со складом инертных материалов, канатной дороги для подачи инертных на бетонный завод, цементных силосов и бетонного завода с узкоколейным мотовозным транспортом.

§ 1. Промывные устройства

Камня для дробления вблизи строительства, не было; местные пески оказались мелкими и загрязненными; инертные¹ получались из песчаногалечного Карьера «Погра» (по Кировской ж. д.) в 40 км от стройки. Разработка карьера производилась помощью двух экскаваторов на железнодорожном ходу. Погринская смесь содержала в себе около 10% глины и небольшой процент валунов свыше 30 см. Обогащенные инертных происходило на промывных устройствах, где осуществлялись промывка, рассортировка и частичное дробление.

Промывные устройства Свирьстроя, невидимому, являются наиболее крупной промывной установкой в Европе. Во всяком случае промывные устройства Свирьстроя не имеют примера в советской практике и являются у нас первой попыткой отойти от практики мелких кустарных промывочных установок, распространенных на наших стройках, когда, вся механизация ограничивается в сущности применением небольшого вращающегося грохота. Особое значение свирский опыт получает в свете современных дорогих цен на инертные. Свирские инертные получились в 2—4 раза дешевле рыночных цен, и, только, идя вслед свирепому опыту, мы можем избежать парадокса наших строек, когда, талка получается сравнительно дороже цемента.

Промывные устройства, чтобы не загромождать район основных работ, были вынесены за пределы района и находились на 1100 м от бетонного завода. На рис. 6 дана схема, расположения промывных устройств.

Территория промывных устройств перерезана посередине железнодорожными путями, по которым смесь подавалась поездами из Погры. Транспорт по ж. д. производился составами сначала из платформ Кировской ж. д., а впоследствии из опрокидных германских платформ (фирма Штейн-Коннель). Германских платформ (рис. 7) было 60, из которых сформировано 2 состава. Грузоподъемность германской платформы 20 т и вместимость 12 м³. Германские платформы оказались весьма удобными в работе и в данном случае показали ряд преимуществ перед американскими думпкарами, применявшимися на Днепрострое и частично на Свирьстрое. Правда германские платформы имеют несколько меньшую емкость и грузоподъемность (средняя нагрузка дум-

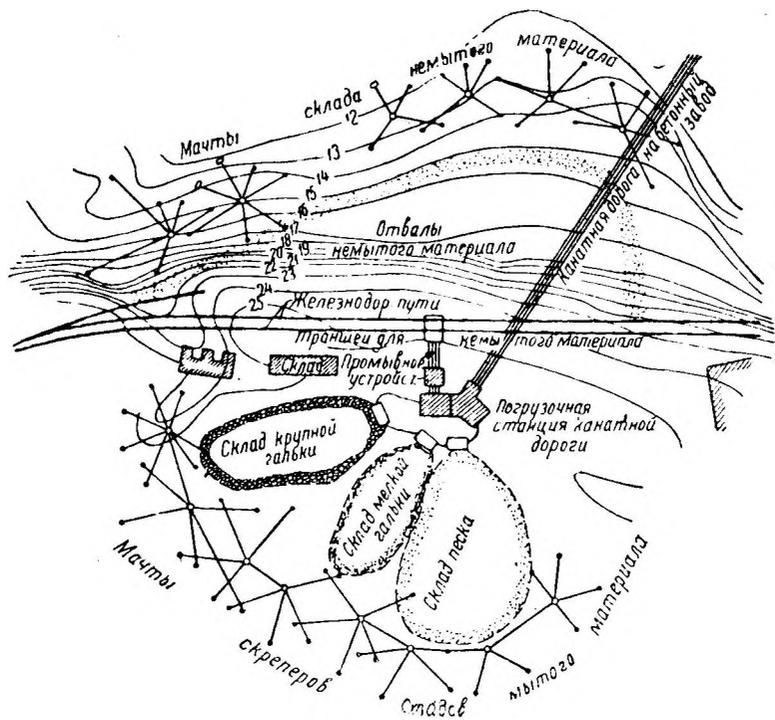


Рис. 6. Схема расположения промывных устройств.

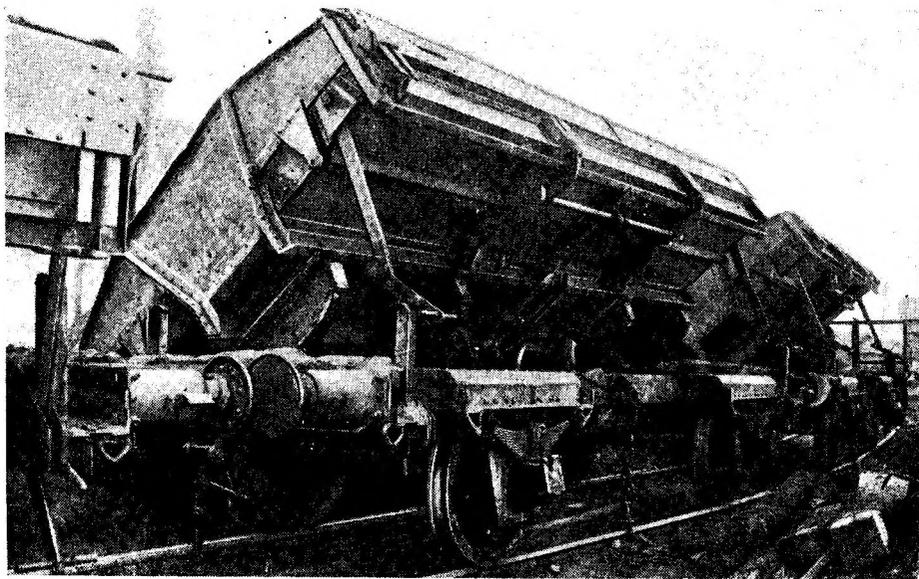


Рис. 7. Германская опрокидывающая платформа.

кара ка Днепрострое при подаче камня на камнедробильный завод была 27 т, при возке щебня 25 т. объем ящика думпкара 15 м³), но платформы не требуют специальных приспособлений и подачи сжатого воздуха для опрокидывания и весьма просты в обращении. Четверо рабочих за 45—50 мин. разгружают поезд в 30 платформ. Немецкие думпкары ручного опрокидывания легче и дешевле американских думпкаров пневматического действия и их следует рекомендовать к изготовлению на наших заводах и к широкому распространению в подходящих условиях по нашим стройкам. Следует лишь иметь в виду, что в случае необходимости одновременного группового опрокидывания вагонов немецкие думпкары должны потребовать соответственного увеличения числа рабочих по опрокидыванию.

Промывные устройства состояли из двух одинаковых агрегатов. Продольный разрез промывных устройств дан на рис. 8. Оборудование было доставлено американскими фирмами, так как было установлено, что именно американцы способны дать наиболее простые и надежные механизмы для обогащения инертных. Большая часть оборудования промывных устройств была получена от фирмы Тельсмит-Мильвоки.

Между ж. д. путями помещалась приемная траншея на 1000 м³. Посредине траншеи были две воронки для подачи смеси на агрегаты. Смесь от концов траншеи подтягивалась к воронкам двумя скреперами фирмы Заурман с объемом, ковша 3 м³ и мотором 150 ЛС. Слева (рис. 8) от упомянутых воронок были расположены еще две воронки, которые работали со склада немых материалов. Этот склад был заполнен до начала эксплуатации промывных, чтобы создать запас на время усиленных бетонировок, и расположен на пониженной части площадки. Разгрузочный путь по мере засыпки немых материалов рехтовали от траншеи и образовали запас в 200 000 м³, после чего путь разобрали и тем самым была исключена возможность осыпки немых в случае аварии на промывных и переполнения приемной траншеи. Опыт указал на важное регулирующее значение склада немых у промывных, поэтому на будущих стройках следует все время сохранять возможность приемки немых помимо промывных устройств на специальный склад, в особенности в случаях подвоза инертной смеси от карьера к промывным устройствам не хозяйственным способом, а на договорных началах. По подаче смеси со склада к воронкам работали два скрепера, из которых один был в 3 м³, а другой в 1.9 м³. Для укрепления ролика, обратного троса скреперов по периметру склада был поставлен ряд мачт, между которыми натянут вспомогательный трос. По последнему с помощью двух лебедок передвигалась и могла быть установлена в любой точке тележка со шкивом для обратного троса скрепера.

Под каждой воронкой расположен фидер, питающий главный конвейер. Фидер имеет вид продолговатого ящика с двумя продольными и одной поперечной стенкой. Фидеру придается попеременно-возвратное движение, обеспечивающее подачу материала в пределах от 50 до 135 м³/час. В воронке над фидером расположена решетка с зазорами 300 мм против попадания в фидер крупных камней. Одиночные, редкие крупные камни вынимались из воронок посредством специального крана и разбивались рабочими на меньшие курки. Со складского фидера материал попадал на главный конвейер непосредственно, а через горизонтальный отрезок ленты. Главный конвейер поднимается с уклоном 1 : 4, имеет длину 41 м и ширину 91 см (36"). Конвейер приводится в движение от мотора 30 ЛС. В конце конвейера материал сыплется

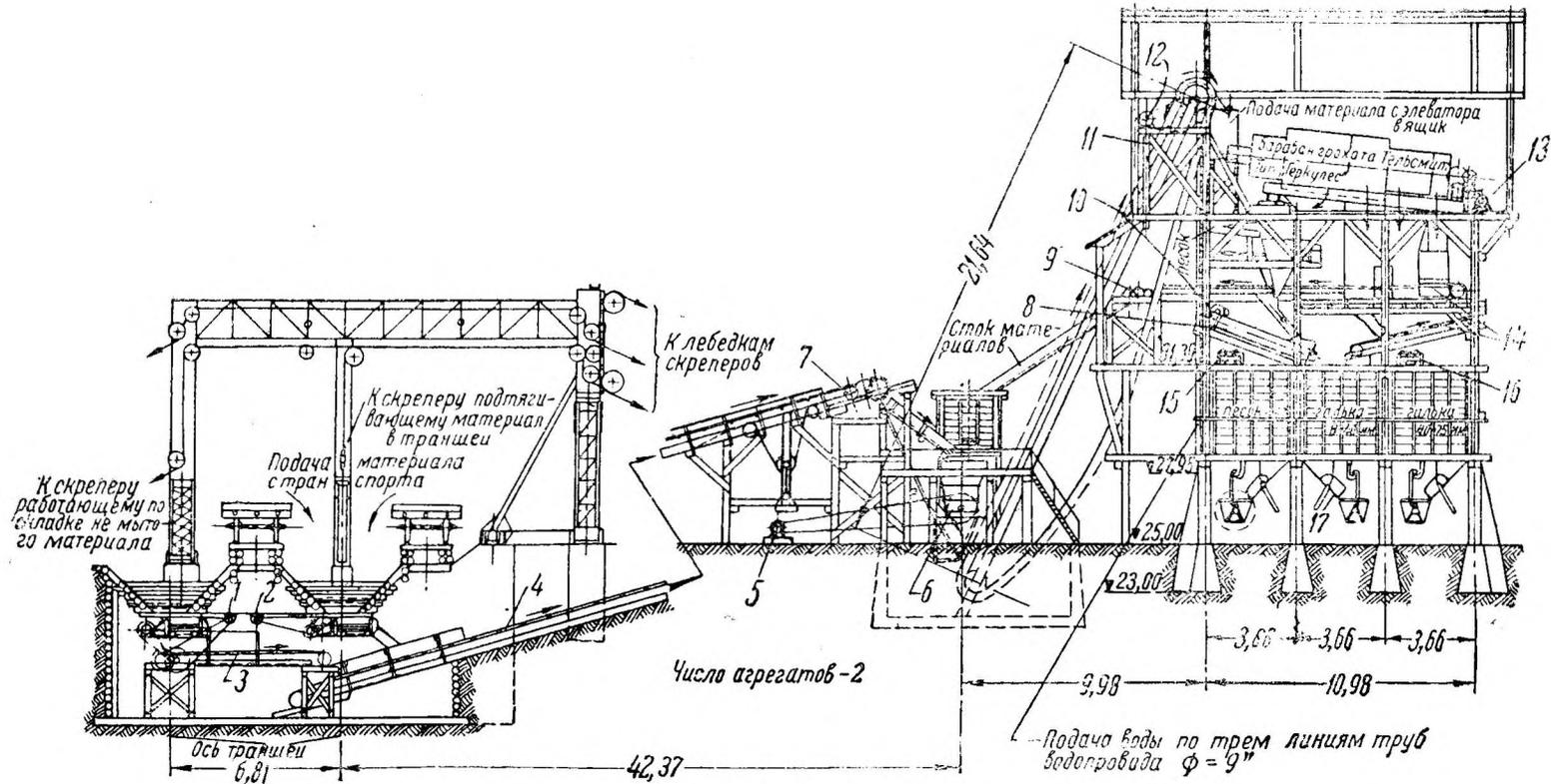


Рис. 8. Продольный разрез промывных устройств.

1 — мотор к конвейеру и филеру 7 ЛС, 2 — мотор к филеру 5 ЛС, 3 — ленточный конвейер, 4 — главный ленточный конвейер, ширина ленты 36", 5 — мотор камнедробилки 40 ЛС, 6 — коническая камнедробилка Тельсмита 13-А, 7 — мотор главного конвейера 30 ЛС, 8 — винтовая пескомойка Тельсмита, 9 — мотор конвейера 3 ЛС, 10 — мотор пескомойки 5 ЛС, 11 — ковшевого элеватора Тельсмита, 12 — мотор элеватора 60 ЛС, 13 — мотор грохота 30 ЛС, 14 — конвейеры для гальки, 15 — конвейер для песка, 16 — конвейер для гальки, 17 — затвор.

в дробилку по решетчатому лотку, причем материал мельче 7 см проскакивает решетку и, минуя дробилку, по особому лотку окатывается в ящик под дробилкой.

Дробилка поставлена фирмы Тельсмит-Мильвоки «13-А» конусного типа с гладкими, а не ребристыми, поверхностями плит давления и с мотором 60 ЛС. Плиты при износе ремонтировались наплавной твердых сплавов. Дробилка оказалась недостаточно мощной и во время эксплуатации пришлось поставить дополнительную челюстную дробилку. Прочет мощности дробилок при доверии к фирменным каталогам обычен, в данном же случае дополнительная дробильная мощность была вызвана отчасти и тем, что фактическое содержание камней в истринской смеси оказалось несколько больше ожидаемого.

Материал, пройдя дробилку, встречается с мелочью, минувшей дробилку, и направляется в ковшевой элеватор. Элеваторные ковши смонтированы на 14-прокладочной резиновой ленте, ширила ленты 91 см (30"), мотор элеватора — 60 ЛС.

Ковши поднимают материал на пятый этаж и сваливают в приемный ящик грохота, после чего обмываются водой под напором. Глинистый инертный материал быстро забивает черпаки, а часть сыпучего материала при обратном ходе элеватора забивает яму внизу дробилки. Спрыск водой ковшей в значительной мере уменьшил необходимость очистки ямы и свел очистку к одному разу в сутки. В приемный ящик грохота из 8-дюймовой трубы под напором в 2 ат подается вода и сбивает смесь из ящика в грохот.

Вращающийся грохот фирмы Тельсмит, тип «Геркулес». Грохот осуществлял промывку гальки, первоначальную промывку песка, и рассортировку инертных на три сорта; песок, мелкую гальку и крупную. Длина грохота 8 м, внутренний диаметр 1,75 м, мотор 30 ЛС. По длине грохот делится на 5 секций. Первая секция называется скруббером со сплошными стенками, разделена перегородками на ряд ячеек я служит для промыва смеси. Вторая секция имеет круглые отверстия диаметром 25 мм и окружена вторым ситом с отверстиями 5 X 25 мм, причем размер 25 мм расположен по направляющей соответствующей цилиндрической поверхности. В этой секции отходит песок и вода. Третья секция грохота имеет внутреннее сито с отверстиями диаметром 90 мм и наружное — с отверстиями диаметром 45 мм. Здесь отходит мелкая галька. В четвертой секции имеется одно сито с отверстиями диаметром 90 мм. В этой секции отходит крупная галька. Отверстия грохота 90 мм в ходе эксплуатации промывных устройств были увеличены до 100 мм. В пятой секции сит нет. Здесь отходят все камни, не прошедшие через отверстия грохота, после чего камни попадают на обратный конвейер и затем обратно в дробилку. Мотор обратного конвейера мощностью в 3 ЛС. Сита вращающихся грохотов промывных устройств, как и на, днепростроевских камнедробильных заводах, менялись приблизительно по переработке 75 000 м³ материала.

Оба сорта гальки поступают в два бункера на четвертом этаже. Из бункеров их можно направлять или в расходные бункеры второго этажа, или на конвейеры подачи на склады мытого. Песок с грязной водой специальным лотком разбивается на три потока, из которых каждый попадает в один из трех отстойников, расположенных в четвертом этаже.

Качающийся отстойник представляет собой бак в виде четырехгранной пирамиды. Бак покоится на двух призмах и уравнивается

контргрузом. Песок с водой попадает в бак, оседает на дне его, а грязная вода переливается через верхний край отстойника и стекает в лоток, отводящий воду из здания промывных устройств. Внизу бака имеется отверстие, закрытое крышкой. Когда в баке накопится достаточно песка, то бак наклонится, нижнее отверстие откроется и порция песка выйдет из отстойника в лоток, расположенный в третьем этаже. Лоток сдает песок в перепромыватель и ли иначе ревашер. На один грохот приходится три ревашера.

Ревашер представляет собой наклонный шнек, вращающийся в корыте. Шнек поднимает песок кверху, к выходному отверстию в корыте, откуда он высыпается или на конвейер подачи на склад мытого, или в песчаные расходные бункеры второго этажа. В корыте, по всей его длине, песок смачивается водой, бьющей струйками из отверстий подающей трубы. Грязная вода из нижнего конца ревашера направляется в лоток, отводящий воду из здания.

Были произведены некоторые наблюдения над работой промывочных приспособлений. Наименьшая подача воды к грохоту была около $4 \text{ м}^3/\text{мин}$. При меньшей подаче в грохоте быстро образовывался завал. Наблюдения выяснили, что указанная подача воды в большей мере обеспечивала необходимую степень отмыва глинистых веществ. При максимальной возможной подаче воды содержание глинистых веществ в нормальной погринской смеси уменьшалось всего лишь на 0,4%, считая проценты от веса песка, гранулометрический же состав песчаной продукции при этом не изменялся почти никак. Поэтому, если в начале эксплуатации промывных устройств вентиль трубы, подающей воду к грохоту, открывали полностью, то впоследствии старались подачу воды сократить. После прохода через грохот и отстойник песок освобождался от основной массы глинистых веществ, и ревашер обычно снимал десятые доли процента содержания глинистых веществ. При выходе песка из отстойника он отличался большим содержанием воды. Эта вода частично отходила, при подъеме песка винтом ревашера по лотку. Влажность песчаной продукции ревашера равна была в среднем 17%. При изменении количества воды, подаваемой в ревашер, влажность песка, выходящего из ревашера, существенно не менялась. Большая влажность песчаной продукции промывных устройств, как это показано будет ниже, в сильной степени осложняла дозировку воды на бетонном заводе. Опыт Свирьстроя подтвердил совершенную необходимость устройства специальных обезвоживателей мытого песка.

Воду для промывных устройств подавала насосная станция, стоявшая на берегу реки Свири. В станции установлены были два центробежных насоса, системы Вортингтон диаметром 12" (30 см), производительностью $14 \text{ м}^3/\text{мин}$ при напоре в 6,5 яг, два мотора по 300 ЛС. Длина линии до промывных устройств была 900 м, высота подъема 36 м. Отвод грязной воды от промывных устройств совершался с помощью деревянного лотка в болото, расположенное недалеко от берега реки. Из болота вода стекала в реку. Тратили промывные устройства на 1 м^3 смеси в среднем 6—7 м^3 воды. Этот расход следует признать сравнительно большим. На будущих стройках его необходимо уменьшить. В проектах необходимо предусмотреть сооружение отстойников и возврат отстоявшейся воды на промывные. В эксплуатации же следует отнестись к определению нормального режима подачи воды более внимательно, чем это можно было сделать при первом опыте, опыте Свирьстроя.

Рядом с промывными располагались склады мытых материалов.

Они необходимы были на случай аварий и ремонтных остановок промывных. Самое же важное — они осуществляли запас для зимних бетонировок, так как зимой промывные не могли работать на мерзлом материале. Промывка обычно происходила с середины апреля до середины ноября. Емкость складов была:

крупная галька.....	140000 м ³
мелкая „ ..	75000 „
песок.....	150000 м ¹)

Оклады были расположены веером вокруг промывных (см. рис. 7 и 9). Каждый сорт инертных подавался на оклад своим конвейером. Конвейеры подходили к разгрузочным башням, с которых инертные осыпались вниз. Снизу каждой башни была воронка, перекрытая решеткой для приема инертных со склада и погрузки в вагончики канатной дороги. При подаче инертных на склад материал, ссыпавшийся с башни, образовывал над упомянутой воронкой конус, который растаскивался по складу помощью скрепера. На каждом складе был свой скрепер емкостью в 1,9 м³ и лебедка и 100 ЛС. Этот скрепер, будучи повернут в соответствующую сторону, мог подтаскивать материал к промывным и обратно. Летом он работал преимущественно на оттаскивании инертных на оклад, зимой же — со склада. Из описания ясно, что нельзя было инертные подать для вторичной, промывки, но нельзя все же отрицать и возможной необходимости в этом. Когда на складе горы инертных добавляют все новыми и новыми порциями мытых инертных, то остающаяся на зернах инертных вода собирается в капли и стекает вниз, где постепенно скопляются и откладываются мелкие частички грязи, которые неизбежно остаются в промывной воде. В практике Свирьстроя приходилось нижние слои гальки направлять на бетонный завод. В таком случае необходимо было гальку подвергать вторичной промывке в мерных ящиках бетонного завода, По-видимому, к будущему при проектировке промывных устройств следует предусмотреть возможность вторичной промывки нижних слоев инертных на складе.

Общая мощность моторов, установленных на промывных:

семь скреперов.....	760 ЛС,
промывные устройства с моторами канатной дороги	520 „
насосная станция.....	630 „

в с е г о1910 ЛС,
или около 1400 квт

При работе полной нагрузкой показание на счетчике было 1000 квт. Тратилось электроэнергии при промывке 5—6 квт-ч/м³. Упомянем, что на камнедробильных заводах Днепростроя тратились те же 5—6 квт-ч, но на 1 т раздробленного материала. Всего промыто было за период 1930—1934 гг. около 1 100 000 м³. Средний выход отдельных сортов инертного отвечал пропорции: П : МГ : КГ = 45 : 25 : 30. Увеличение объема суммы мытых инертных по сравнению с объемом немытого материала выражалось приблизительно в 10%. Это увеличение объясняется увеличением объема смеси инертных, наблюдающимся при разбивке смеси на отдельные фракции, и частично объясняется дроблением. Унос

¹) Проект промывных устройств для Верхнесвирской установки предусматривает небольшие расходные склады инертных. Проектом предусмотрены подогрев зимой инертной смеси и отопление промывных устройств.

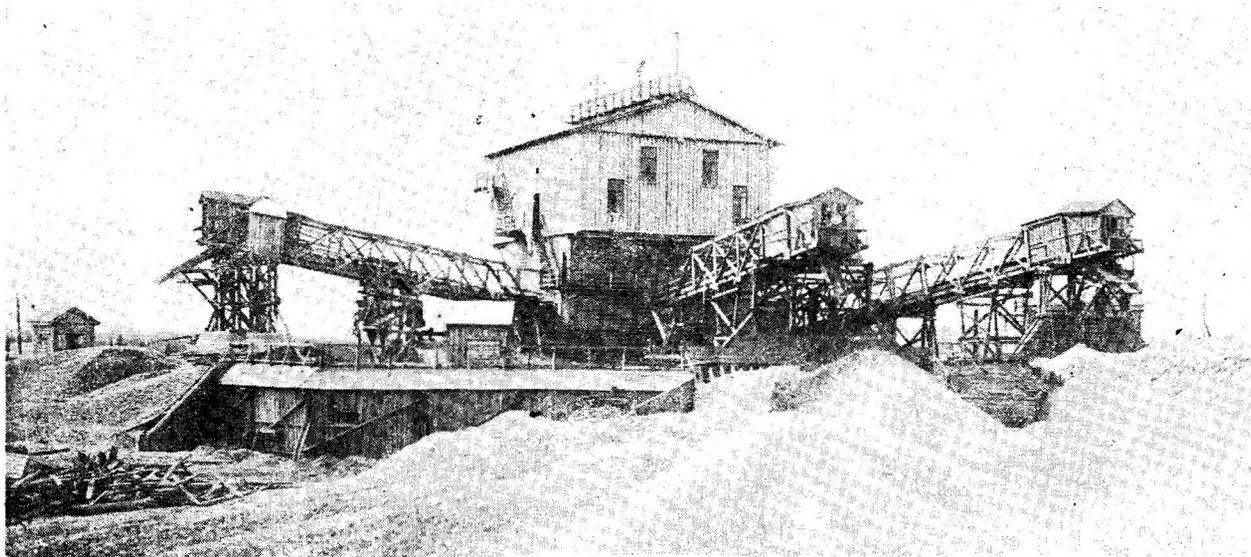


Рис. 9. Склады мытых инертных материалов.

частиц песка с грязной водой определен в 8—10% и был неприятен, так как в большей мере он шел по линии мелких песчаных частиц. На будущих стройках следует предусмотреть постановку отмучивателей, которые в состоянии осуществить отделение глинистых веществ без потери мелких песчаных частиц.

Средние производительности для промывных устройств оказались на один агрегат на час чистой работы $86,5 \text{ м}^3$ смеси, на рабочий час (на один час рабочей смены) — 39 м^3 . Максимальная выработка за один месяц $76\ 150 \text{ м}^3$, за одни сутки — 3738 м^3 . Интересен опыт Свирьстроя в отношении числа рабочих смен за сутки. На Днепрострое с самого начала рабочих смен было две, третья предназначалась на ремонт и подготовку. На Свирьстрое начали с трех рабочих смен. В результате в период самой напряженной работы по промывке, а именно в 1931 т., добились среднего числа часов чистой работа на сутки 11—12 часов, т. е. часы чистой работы составляли меньше половины рабочих часов. Поэтому Свирьстрой впоследствии также перешел на две рабочие смены и в третью смену производил текущий ремонт и различные подготовительные мероприятия.

В отношении стоимости работы промывных устройств необходимо отметить, что система бухгалтерского учета Свирьстроя позволяет определить стоимость не только прямых затрат данного производства, но и всех косвенно относящихся к: производству издержек. Обычно на отройках учета полной стоимости строительных операций не производится, поэтому и следует иметь в виду, что данные других строек не могут быть сравнимы с данными Свирьстроя. По той же причине свирьстроевские результаты в отношении стоимости продукции отдельных устройств бетонного хозяйства должны представить, невидимому, особый интерес для сметных и других возможных соображений перед началом аналогичных строек.

Стоимостные сведения по промывным устройствам (табл. 1), а в дальнейшем по другим участкам бетонного хозяйства, составлены на основании бухгалтерских отчетов Свирьстроя за 1930—1934 гг. В графе «административно-хозяйственные расходы и разные накладные расходы» предусматриваются в соответствующей доле расходы по содержанию аппарата управления строительства, общих отделов, цехов, охрана строительства, отчисления в различные фонды и пр. Амортизация оборудования по бетонному хозяйству исчислена в среднем в 40—80%. В графе износа сооружений и погашения стоимости монтажа оборудования соответствующие расходы приняты полностью. Правда здание промывных устройств не разобрано до сих пор и по канатной дороге производится в некоторых размерах перевозка инертных и по настоящий момент. но мы при своих подсчетах исходили из того, что обычно сооружения бетонного хозяйства никак не удается использовать по окончании данной стройки и стоимость материалов после разборки сооружений покрывается расходами по самой разборке. Кроме того ясно, что дальнейшее использование промывных устройств и канатной дорога для целей новых предполагаемых работ в пределах Нижнетирской установки должно потребовать капитального переустройства и ремонта сооружений.

В табл. 1 стоимости отнесены к 1 м^3 мытого материала.

Остановимся на некоторых сравнениях обогатительных устройств на Днепре и Свири. Полного сравнения здесь не может быть ввиду коренной разницы устройств. Коснемся мощности устройств, обстоятельств работы транспортерных приспособлений и некоторых бытовых:

Таблица 1

Стоимость 1 м³ мытых инертных

Статья затрат	Прямые расходы	Накладные расходы на зарплату	Административно-хозяйственные расходы и разные накладные расходы	Амортизация оборудования	Износ сооружений и погашение мон-тажа оборудования	Сумма
1. Заготовка в карьере	—79	—16	—19	— 2	—15	1—31
2. Доставка и разгрузка	1—60	—10	—38	— 5	— 3	2—16
3. Промывка . .	3—25	—42	—65	—30	—59	3—47 5—21
Всего	5—64	—68	1—22	—37	—77	8—68

условии работы. На Днепрострое во время приемочного испытания камнедробильного завода в течение одной рабочей смены была достигнута производительность в 270 т на час чистой работы. Мощность моторов завода 1250 ЛС. Подобного приемочного испытания на Свирьстрое не было. Возьмем 10 дней за сентябрь 1931 г. с производительностью больше 3000 м³ на день и получим среднюю производительность на 1 агрегат на час чистой работы 121 м³. Учитывая работу двух агрегатов, при объемном весе смеси 1,8, получаем производительность на час чистой работы 436 т. Полученные данные говорят за то, что производительность промывных устройств Свирьстрою уступала немногим суммарной производительности двух камнедробильных заводов Днепрокряя. При пуске в ход и при передаче в нормальную эксплуатацию промывных устройств на Свирьстрое не встретились с особыми затруднениями. На Днепре протекло несколько месяцев с момента окончания постройки завода и монтажа оборудования до момента окончательной приемки завода. Задержка в пуске происходила за счет ряда обстоятельств, но в большей мере была вызвана слабой работой металлических транспортных средств. Определенного внимания потребовали к себе усиления металлических наклонных норий и металлических стержневых транспортеров, обнаруживших сильный износ трущихся частей и различные неполадки в работе. Например, звенья из полосового железа наклонных норий до переделки холостой ветви на роликовый ход снашивались от трения при ходе по поддерживающей раме на 1 мм за две рабочих смены. Резиновые транспортеры па днепростроевском камнедробильном заводе работали вполне хорошо. Так яда хорошо и уверенно работали резиновые транспортерные ленты и резиновые ковшовые элеваторы на промывных устройствах Свирьстрою. Поэтому при равных прочих обстоятельствах резиновые транспортерные средства следует, невидимому, предпочитать металлическим. Условия работы на промывных устройствах легче, чем на камнедробильных устройствах. Пыли на промывных устройствах нет совсем. Пыльность камнедробильных заводов весьма большая. По измерениям, произведенным в начале эксплуатации днепростроевских заводов, количество пыли оказалось 70—1400 мг на 1 м³ воздуха. На Днепро-

строе лишь в результате большой и кропотливой работы (вытяжная вентиляция и смачивание материала) удалось достичь беспыльности и в некоторых местах сравнительной беспыльности помещений камнедробильного завода.

§ 2. Канатная дорога

Для подачи инертных с промывных устройств на бетонный завод была применена канатная дорога. В данном случае канатная дорога представила ряд удобств, а именно, она легко позволяет преодолевать

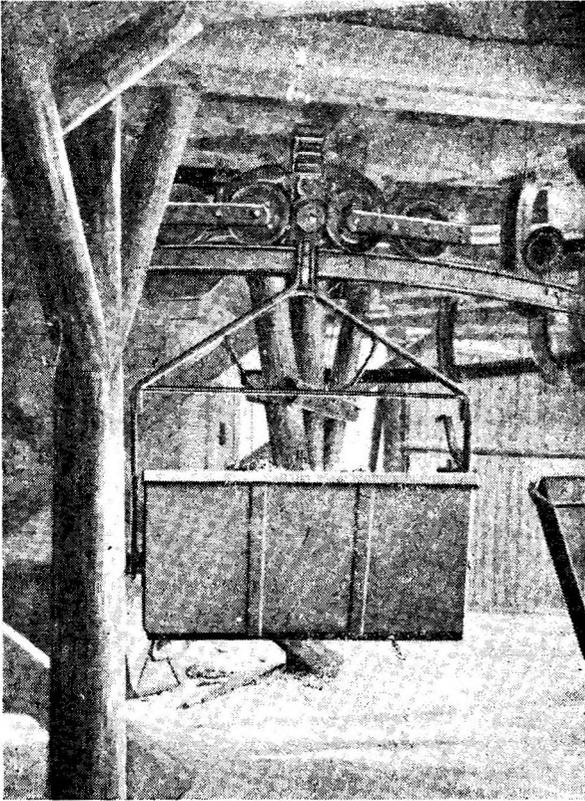


Рис. 10. Вагончик канатной дороги.

уклоны и подъемы. Поэтому ничего не стоило на территории промывных устройств линию провести достаточно низко, чтобы осуществить легкость погрузки и маневров с вагончиками, затем приподнять линию так высоко, чтобы пройти над территорией строительства и не мешать другим, транспортным операциям и различным работам, и при подходе к бетонному заводу линию расположить на такой отметке, чтобы пройти непосредственно над бункерами бетонного завода, где происходит разгрузка вагончиков. Эксплуатационная сторона канатной дороги была уже хорошо знакома советским инженерам, так как целый ряд канатных дорог работает вполне успешно и надежно хотя бы на ряде цементных заводов СССР. Оборудование дороги сравнительно просто и изготовление его было освоено советскими заводами. Действи-

тельно оборудование было изготовлено в СССР (Укрмаштрест) и только тросы были получены из-за границы.

Канатную дорогу составляют следующие элементы, иногда частично сливающиеся с примыкающими к ним устройствами:

- 1) погрузочная станция — рельсовые пути под промывными устройствами и под бункерами склада мытых материалов с включающими и выключающими приспособлениями;
- 2) приводная станция — там же у промывных устройств;
- 3) линия дороги — опоры с арматурой и канатами;

- 4) угловая станция для перелома линии, который был необходим, так как промывные устройства не лежали по оси бетонного завода и где-то следовало сделать поворот линии;
- 5) разгрузочная станция — рельсовые пути в верхнем этаже бетонного завода с поворотными устройствами;
- 6) подвижной состав — вагончики.

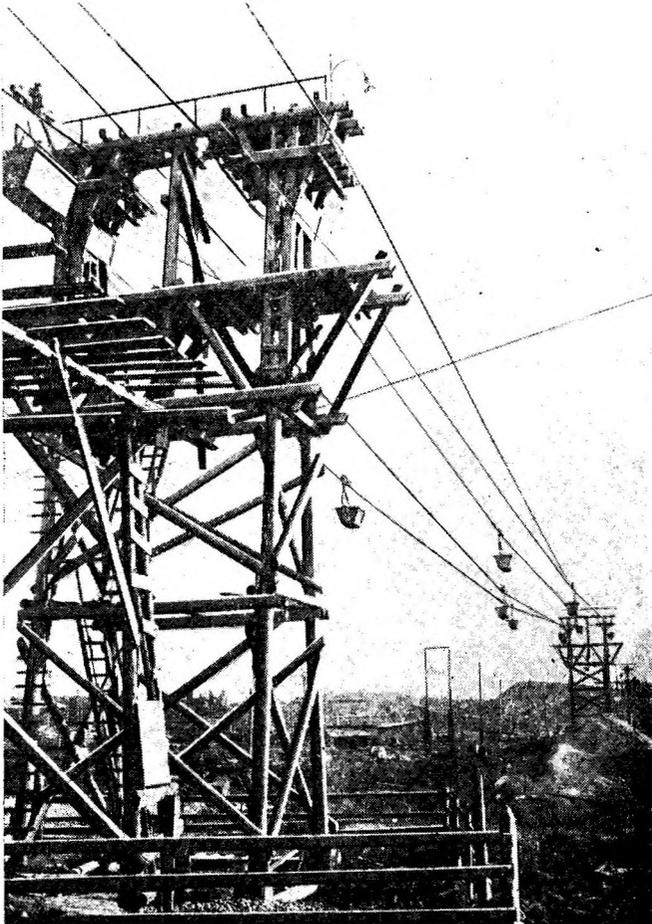


Рис. 11. Опора канатной дороги.

В дополнение к последующему описанию отдельных элементов канатной дороги прилагаются рис. 10 и 11.

На погрузочной станции вагончики передвигались вручную и ходили по жестким рельсам. Здесь по соответствующей спроектированной сети путей можно было вагончик подогнать к любому бункеру и без движения в обратном направлении направить к выходу на любую линию для дальнейшего следования на бетонный завод. При выходе на линию вагончик проходит автомат (включатель), который освобождает замок на вагончике для захвата тянущего троса. После прохода автомата

замок запирается и держит трос до тех пор, пока вагончик не возвратится на погрузочную станцию и не пройдет через другой автомат (выключатель), освобождающий замок от троса.

На приводной станции находились две лебедки с моторами по 30 ЛС. Эти лебедки сообщали тяговым канатам тяговое усилие. Вагончики двигались на расстоянии 45—70 м друг от друга со скоростью 1—1,25 м/сек.

Линия канатной дороги располагалась на десяти опорах, из которых девять были на промежутке между погрузочной и угловой станцией и одна между угловой станцией и разгрузочной. Опоры несли на себе чугунные башмаки, на которых лежали два грузовых каната диаметром по 45 мм и два для порожнего направления диаметром по 35,5 мм (фирма Фэльтен и Гильом в Германии). Как видно, линия канатной дороги состояла, собственно говоря, из двух линий, смонтированных на общих опорах. На опорах были установлены шкивы, на которых лежали тяговые канаты (обыкновенные стальные тросы диаметром 18 мм), в то время, когда рядом с опорой не было вагончика. Угловая станция делила канатную дорогу на два участка. Несущие тросы одного участка были закреплены на погрузочной станции, другого — на бетонном заводе. Натяжные приспособления обоих участков помещались на угловой станции.

Там же находились поворотные и натяжные устройства. Вагончик при подходе к станции сходит с каната на жесткий рельс, где идет по кривой радиуса 5 м. и затем снова вступает на несущий канат. В это время тяговый трос огибает горизонтальный шкив радиуса, соответствующего радиусу жесткого рельса. Несущие тросы натягивались подвешенными к ним ящиками с грузом. Несущий канат при подходе к натяжному ящику проходил через ролик. Вес натяжных грузов грузовой линии — 40 т, холостой линии — 23 т, что дает натяжение канатов приблизительно в 2500 кг/см².

Разгрузочная станция, как сказано выше, находилась в верхнем этаже бетонного завода. Для разгрузки вагончиков применялись особые опрокидыватели в виде железного пальца, которые ставились у соответствующего бункера. Палец задевал за защелку вагончика, открывал ее, и кузов вследствие эксцентричности подвески опрокидывался. Пройдя над одним рядом бункеров бетонного завода, вагончик поступал на поворотную часть, где жесткий рельс был расположен по кривой в 180° при радиусе в 5 м. Ведущий трос в этом месте проходил по горизонтальному шкиву и также делал упомянутый угол. Сойдя с поворотной части, вагончик шел над вторым рядом бункеров и с жесткого рельса попадал на несущий трос порожнего направления канатной дороги. Каждая линия канатной дороги обслуживала одну половину бетонного завода. Это обстоятельство приводило к затруднениям, когда случалась какая-либо авария на одной из линий. В таких случаях приходилось из вагончиков другой линии материал выгружать на пол и развозить тачками по бункерам, расположенным под нерабочей линией. Впоследствии сделали перепускные лотки из бункеров одной стороны завода в бункеры другой стороны и это неудобство было ликвидировано. Бетонный завод был связан с погрузочной станцией прямым телефоном и сигнализацией. С завода всегда давался точный заказ на число вагончиков, потребное для заполнения бункеров, в результате чего, по выполнении заказа, линия полностью освобождалась от груженых вагончиков.

Разгрузка вагончиков происходила и на линии, например на угловой станции, для надобностей, не связанных с работой бетонного завода. Для этого на угловой станции ставился опрокидыватель и устраивалась

платформа, на которой находился рабочий, возвращавший кузов вагончика после опрокидывания в нормальное положение.

Кузова вагончиков лежали цапфами в раме из полосового железа. Рама была подвешена к тележке. Тележка лежала на четырех колесиках, соединенных попарно рамкой со шкворнем, вращающимся в основной раме тележки. Замок для тянущего троса помещался наверху тележки. Он поддерживался в запертом состоянии благодаря действию веса кузова. Поэтому, если вагончик соскальзывал с несущего троса, то замок сейчас же размыкался, и вагончик не мог повиснуть на тяговом тросе. Вес груженого вагончика был 2,5 т. Наполнение вагончика выражалось в 1 м³. Всего имелось 120 вагончиков.

Одна линия канатной дороги обычно давала в чаю 50—60 вагончиков. Были случаи, когда средняя подача за смену выражалась в 85 вагончиков на час чистой работы. Стоимость доставки канатной дорогой инертных на бетонный завод (средняя) представлена в табл. 2.

Таблица 2

Стоимость работы канатной дороги на 1 м³ инертных

Статья затрат	Прямые расходы	Накладные расходы на зарплату	Административно-хозяйственные расходы и разные накладные расходы	Амортизация оборудования	Износ сооружений и погашение мон-тажа оборудования	Сумма
Перевозка инертных канатной дорогой	—82	-21	—20	—18	-55	1—96

Канатная дорога в эксплуатации показала себя надежным транспортным устройством и имела мало простоев по неисправности механизмов. Следует отметить, что в начале эксплуатации наблюдалось сравнительно большое количество случаев падения вагончиков. Укажем для примера два рода таких падений.

Усикам, которыми снабжались чугунные башмаки для направления несущего троса при сходе с башмака, придано было строго параллельное направление.

Такое устройство оказалось ошибочным, так как за усики иногда задевал проходящий и покачивающийся от ветра вагончик, что приводило к его падению. После разведения концов усиков подобное явление прекратилось. Тяговый трос иногда соскальзывал с горизонтального шкива, который он обходит при изменении направления линии. Трос, соскользнувший со шкива, легко увлекал за собой подходящий к шкиву вагончик. Возможность таких случаев была уничтожена тем, что шкив снабдили сравнительно длинными лапками, на которые должен лечь соскользнувший со шкива трос и, таким образом, не упасть. Начальный период падения вагончиков пережит был и на Волховстрое при пуске в действие электроподвесной монорельсовой дороги для возки бетона. Начальные случаи падения вагончиков не должны обескураживать строителя, так как они скоро прекращаются, если подвергнуть изучению

каждый случай падения и принять меры к немедленной ликвидации обнаружившихся неполадок. Затронутая сторона дела, бее сомнения, должна явиться предметом большого внимания и при монтаже канатной дороги.

§ 3. Цементные силосы

Оборудованные пневматическими устройствами цементные силосы Свирьстрое являются первой в СССР и вполне удачной попыткой все-сторонней механизации цементных операций на стройке. Цементные силосы избавили от необходимости перевозки цемента в таре, и Свирьстрой является одной из первых крупных строек, перешедшей на систематическую приемку цемента накатом. Экономия при избавлении от цементной тары весьма значительна. Тара не тратится, подъемная способность ж. д. вагонов в грузовом направлении используется лучше и отпадает потребность в обратной отправке тары. Цементные силосы на Свирьстрое позволили осуществить весьма компактное складирование цемента и заменили собой двенадцать обычных цементных складов сараев. Транспортные операции с цементом в пределах склада и по подаче на бетонный завод происходили с замечательной легкостью и без всякого увеличения рабсилы в период больших бетонировок. Пневматика разрешила весьма просто подъем цемента к бункеры бетонного завода. Роль цементных силосов в санитарно-гигиеническом отношении несомненна. Достаточно указать, что на Днепрострое рабочие, работавшие по переноске мешков с цементом в расходный склад и по загрузке цемента из мешков к цементные бункеры, половину календарного времени проводили под врачебным присмотром, будучи освобождены от работы, так как от непрерывного соприкосновения кожи с цементом и трения о мешочную материю получались сильные раздражения кожи на пальцах рук и на плечах.

На Свирьстрое для хранения цемента служили два силосных склада размером каждый в плане 14 X 21 м (рис. 12 и 13). Каждый склад был разбит перегородками на 6 прямоугольных ячеек (бункеры) высотой около 15 м, которые сходили книзу на конус. Фундамент силоса был ряжевый. Общая емкость силосов была 11 000 т, что, между прочим, отвечало потребности бетона в цементе на месяц фактически осуществленной максимальной месячной производительности бетонного завода.

Оборудование силосов состояло из следующих частей:

- 1) Приемные воронки с механическими лопатами, которые служили для приема цемента из вагона и пропуска его в продольные шнеки.
- 2) Продольные шнеки диаметром 300 мм, куда цемент попадал из приемных воронок.
- 3) Поперечный шнек диаметром 350 мм, который передавал цемент от продольного шнека к помпе.
- 4) Помпа, Фуллера.
- 5) Трубопровод, который шел от помпы и подавал цемент в бункеры силосов и бетонного завода.
- 6) Компрессоры, которые подавали воздух для помп.

Механические лопаты были поставлены фирмой «Стефано-Адамсон» и приводились в движение лебедкой при моторе в 5 ЛС. Механическая лопата представляет собой металлический щиток. Сверху щиток снабжен ручками, а снизу к нему привязан тросик, идущий к электрической лебедке. Лебедка находится на платформе, расположенной вдоль силосов. Рабочий заносит щиток вглубь вагона, погружает его в цемент

и поддерживает в вертикальном положении. Лебедка начинает работать и тащить щиток вместе с некоторой массой цемента к приемной воронке. Воротки были покрыты решетками для предупреждения попадания в шнек кусков схватившегося цемента, а также посторонних предметов. В особенности нежелательны были куски железа, так как они могли привести к поломкам шнеков силоса. Приемных воронок было 8 штук, по 2 штуки на каждой стороне каждого силоса. Таким образом сразу могли разгружаться с одной стороны силосов 4 вагона, а с другой сто-

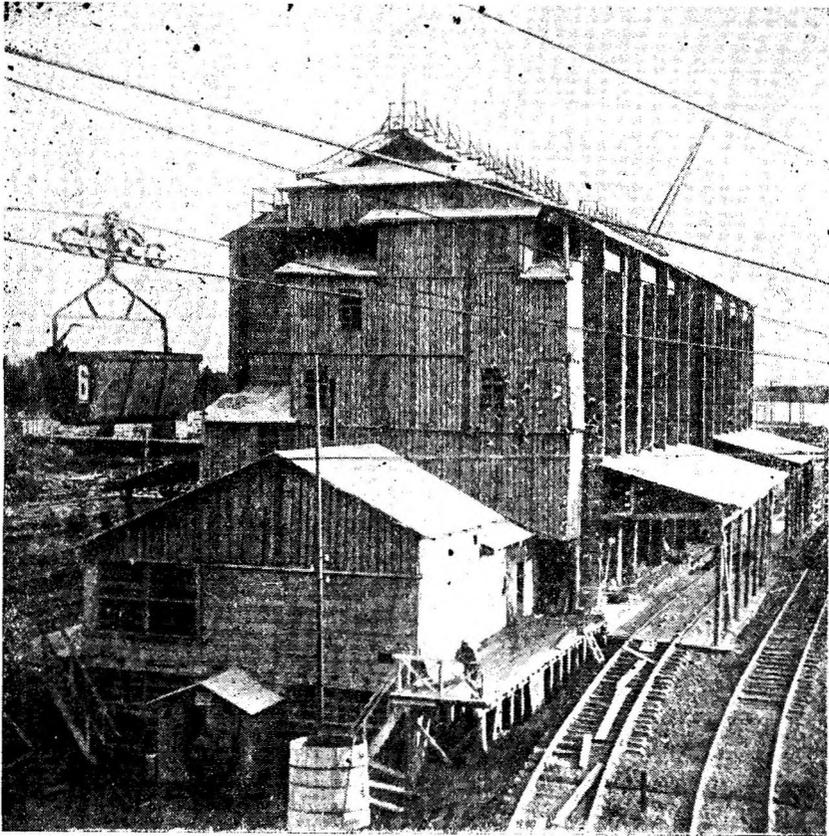


Рис. 12 Цементные силосы.

роны в это время могли происходить маневры. Разгрузка одной партии вагонов продолжалась около часа. За одни сутки практически разгрузили до 50 вагонов.

Продольные шнеки шли вдоль каждого силоса с двух его сторон. Таким образом всего было 4 продольных шнека. В продольный шнек через секторный затвор можно было дать цемент и из одного из трех цементных бункеров, расположенных как раз над данным продольным шнеком. Продольный шнек продвигал цемент к машинному помещению; последних было два по числу силосов.

Поперечный шнек находился в машинном помещении. Всех поперечных шнеков было четыре. Каждая пара, состоящая из продольного и

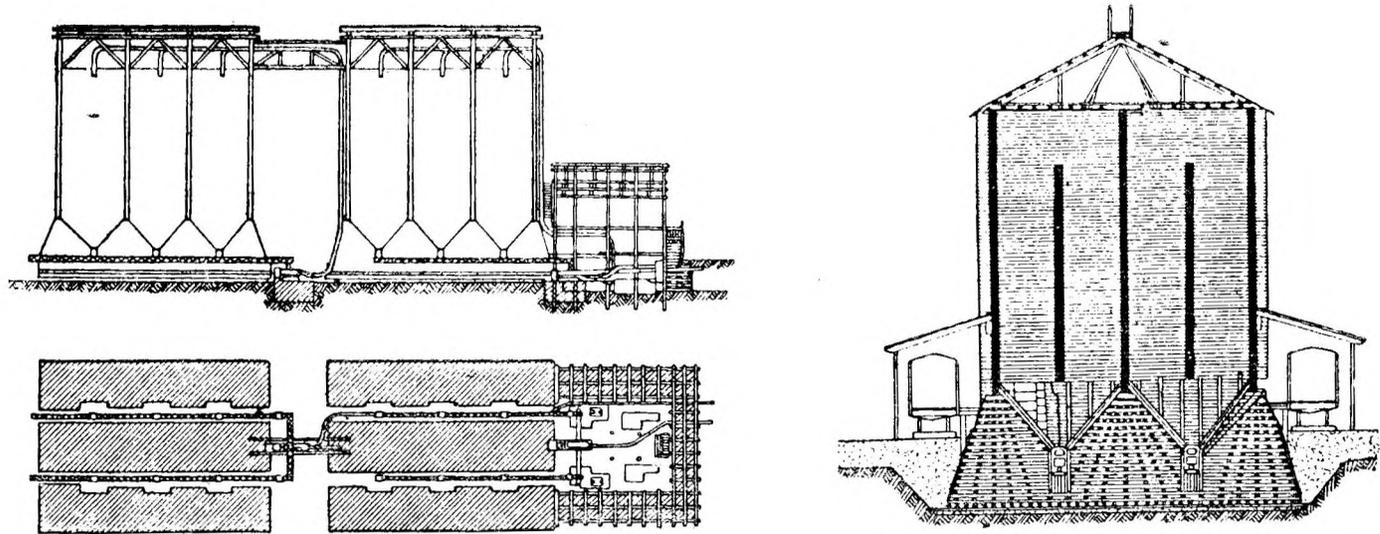


Рис. 13. Разрезы цементных силосов.

поперечного шнеков, приводилась в движение мотором в 25 ЛС. Поперечные шнеки были двухъярусными. Верхний шнек работал в решеточном кожухе, через который цемент просеивался к нижнему шнеку, а все посторонние примеси к цементу подавались по особому лотку наружу в конце верхнего шнека.

Помпа Фуллера (рис. 14) являлась основным механизмом силосов. В чугунной трубе вращается шнек диаметром 150 мм с переменным постепенно уменьшающимся шагом винта от 150 до 122 мм. Зазор между витками шнека и стенками трубы весьма маленький. Количество оборо-

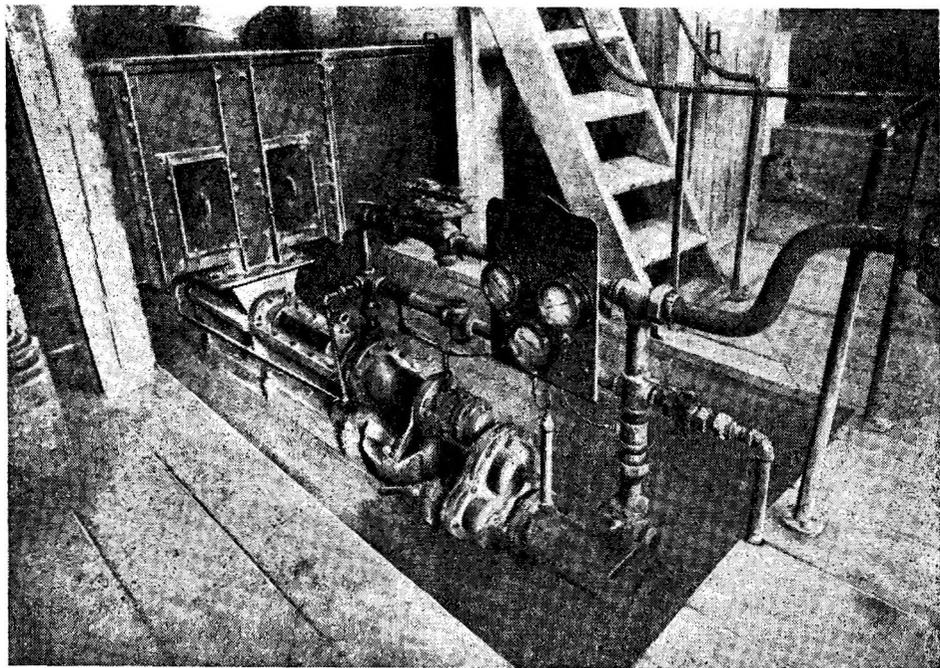


Рис. 14. Помпа Фуллера.

тов шнека 660 об/мин при мощности мотора в 100 ЛС. В начале шнека помпы имеется воронка, через которую сыплется цемент из поперечного шнека. Шнек помпы продвигает цемент вдоль трубы, последний, подходя к концу шнека, вследствие прогрессивной крутизны шага шнека сильно спрессовывается. У конца шнека в трубу подается сжатый воздух под давлением 4—5 ат через ряд отверстий в кольце, охватывающем помпу. Отверстия наклонны и благодаря этому получается вихрь, который подхватывает цемент, выходящий из шнека. Так как прессованный цемент в конце шнека образует собой род пробки и не пропускает воздух в шнек, то воздух вместе с цементной пылью несется в обратную сторону, где он и находит выход в трубопровод.

Шнек помпы сделан из высокосортной стали. Тем не менее, он довольно скоро истирается цементом и тогда его приходится наплавлять твердым сплавом «Стиллит». Импортный сплав был впоследствии вполне удачно заменен сплавом, который был получен из Института металлов в Ленинграде. Производительность помпы по каталогу 35 т/час, на самом

деле получалась 20 т/час. Отметим, что производительность помпы заметно падала при пропуске через нее цемента марки «000». Причина этого явления осталась невыясненной.

Трубопровод имел разветвление к каждому бункеру силосов и бетонного завода. Давление воздуха по длине трубопровода поддерживается от 1 до 2,5 ат. Повороты трубопровода делаются радиусом 2—3 м, диаметр трубопровода 5" (12,5 см). Перекрывая задвижки на трубопроводе, можно было из-под любой приемной воронки из вагона или из-под любого секторного затвора из бункера силоса подать цемент в любой бункер силосов и завода. Если цемент подавать одновременно и равномерно из двух точек, то можно добиться хорошего перемешивания двух сортов цемента. Надежное перемешивание цемента может весьма пригодиться в ряде практических случаев. При подаче на завод каждая помпа имела свою линию. Линии подачи на завод идут от силосов в подземной галлерее, чтобы они не стесняли территорию подле завода. На всех разветвлениях линии поставлены электро-пневматические задвижки, и управление загрузкой бункеров бетонного завода автоматическое. У каждой помпы установлен щит с электро-световой сигнализацией, благодаря которой машинист видит, куда он качает цемент. Во избежание закупорки труб после подачи цемента и через каждые полчаса работы несколько минут по трубам прогоняли один воздух. Для вывода свободного воздуха из бункеров бетонного завода установлены матерчатые фильтры. На силосах они оказались ненужными, так как там имелся значительный объем (бункеры силосов были больше и, кроме того, свободно сообщались друг с другом поверку), и воздух быстро терял свою скорость, благодаря чему частички цемента отделялись от него и падали в бункеры.

Компрессоры — фирмы «Чикаго-Пневматик»: один в 75 ЛС и производительностью в 14 м³/мин. другой в 100 ЛС и производительностью в 17 м³/мин с давлением в 1,5 ат. Компрессоры горизонтальные двойного действия. У каждого компрессора имелся свой воздухохоборник, от которого трубами в 5" (12,5 см) воздух подавался к помпам.

Средняя стоимость работы силосов на 1 т цемента, ушедшую на бетонный завод, представлена в табл. 3.

Таблица 3

Стоимость работы силосов на 1 т цемента, ушедшую на бетонный завод

Статья затрат	Прямые расходы	Накладные расходы на зарплату	Административно-хозяйственные расходы и разные накладные расходы	Амортизация оборудования	Износ сооружений и погашение монтажа оборудования	Сумма
	в рублях и копейках					
Подача цемента	3-73	—70	1-02	1—17	4-40	11—02

Механизмы силосов, в сущности очень простые, оказались весьма надежными в эксплуатации. Общая мощность моторов, установленных на силосах, составляет 660 ЛС.

Утрата цемента, судя по распылу, была весьма малой. Определить ее в точности в данном случае не представляется возможным, так как на цементных силосах не было весов, а на ж. д. весах не всегда удавалось перевешивать вагоны с цементом.

Основная особенность силосного складирования заключается в обезличивании цемента с момента попадания его в силосы. При таком обезличивании почти неизбежны некоторые затруднения в отношении выполнения качественных требований к цементу.

С цементного завода могут прийти вагоны с цементом, отличающимся неравномерностью объема или слабой активностью. За время нахождения вагона на строительстве до разгрузки не представляется возможным проверить цемент по указанным признакам. Разгруженный же цемент нельзя выделить из общей массы цемента, лежащего в данном бункере, подобно тому, как это можно сделать при обычных способах хранения цемента. Что касается цемента скоросхватывающегося, то вследствие сравнительной краткости соответствующего опыта удавалось почти всегда схватить при контрольных испытаниях дефектный вагон и не допустить его разгрузки, но были случаи проскоков в силосы и скоросхватывающегося цемента. По-видимому при наличии силосов следует получать цемент более уверенных свойств и лучше всего стройке держать на заводе своего представителя по договоренности с заводом, имеющего право делать испытания цемента в заводской лаборатории и заблаговременно извещающего стройку о качествах направленного ей цемента.

Силосы в целях успешности их работы и хорошего использования их емкости требуют наивозможного сокращения числа применяемых марок и сортов цемента. Например, на Свирьстрое, кроме преимущественно употреблявшегося цемента «00», применялся в некоторых количествах и цемент «000». Иногда получалось, что хранилось небольшое количество высокосортного цемента и, тем не менее, под него занимался целиком один бункер или даже два бункера в разных силосах.

При проектировании силосных установок на других стройках полезно предусмотреть пропуск цемента через весы при приемке цемента в силосы и при направлении на бетонный завод, пневматический забор цемента из вагона и возможность выдачи цемента через помпу и трубопроводы из силосов обратно в вагоны или более мелкими порциями для отправки на работы для мелких надобностей производителей работ.

На Свирьстрое некоторое сравнительно небольшое количество цемента было принято в мешках и бочках. Приемка в мешках не вызывала особых затруднений, но, вообще говоря, она нежелательна, так как требует добавочных рабочих. Если ожидают более или менее массовых поступлений цемента в мешках, следует завести экстаустерные установки для полной очистки опорожненных мешков. При всех условиях вместо мешков в 75 кг желательны более легкие в 50 кг. В особенности был неприятен приход цемента в бочках, так как разбивка бочек, выборка бумаги, обработка тары в узком пространстве подле приемочных воронок были затруднительны и задерживали разгрузку. В результате необходимо было убирать с путей загромождения из бумаги, дерева и цементных кусков. Впоследствии такой цемент старались отправить для разгрузки в склады-сарай, находившиеся при материальном отделе, вне района основных работ. Если наряду о поступлении цемента навалом ожидают прибытия большого количества бочек, то следует предусмотреть у силосов специальное разбивочное помещение.

§ 4. Бетонный завод

Бетонный завод (рис. 15) был расположен между шлюзом и силовой, станцией вблизи основных сооружений, имел сравнительно небольшие размеры, так как из него были вынесены все вспомогательные устройства. Бетонный завод делился вдоль на одинаковые половины (стороны), начиная от приема инертных материалов и кончая выпуском продукции. Береговая сторона обслуживала шлюз, речная — силовую станцию и плотину. Причина такого разделения заключалась в разнице отметок путей подачи бетона для различных сооружений. Впоследствии представилось возможным перепроектировать пути, и каждая сторона могла обслуживать те и другие сооружения.

Каждая сторона имела 3 бетоньерки емкостью на 1,5 м³ замеса каждая. При нормальной работе замес требовал времени: загрузка бетоньерки — 1,5 м, замес — 2,5 м и выгрузка — 1 м, всего — 5 м. Как известно на Днепрострое завод также имел 6 бетоньерок и также с объемом замеса в 1,5 м³. Днепростроевский завод правого берега в 1930 г. давал 2 месяца подряд ежемесячный выпуск продукции в 60 000 м³, доводя производительность в иные дни до 2500 м³. Максимальная суточная подача бетона была 2541 м³. Достигнутые максимальные цифры на Свирьстрое таковы: месячная — 38 500 м³, суточная — 1910 м³, причем в последнем случае одной стороной было выдано 1160 м³. В случае необходимости бетонный завод Свирьстроя, по-видимому, мог бы обеспечить максимальные производительности, близкие к днепростроевским.

Инертные, как было сказано раньше, подавались двумя линиями канатной дороги на верхний четвертый этаж. Под стропилами были проложены трубы подачи цемента. Бункеров у каждой бетоньерки было три: бункер гальки объемом 100 м³, песка — 50 м³ и цемента — 30 т, что соответствовало примерно 100 м³ бетона¹⁾. То обстоятельство, что для гальки был один бункер, создавало некоторые неудобства. Прежде всего приходилось, по крайней мере, одну бетоньерку держать под бетон на мелкой гальке. Если бы над каждой бетоньеркой было два галечных бункера, то в одном была бы крупная галька, а в другом мелкая, и из каждой бетоньерки можно было бы давать бетон и для массивов, и для железобетонных частей на мелкой гальке. При наличии одного бункера принуждены были в бункере держать для массового бетона смешанную гальку. Смешение гальки производилось соответственным чередованием вагончиков с крупной и мелкой галькой. Например, при соотношении КГ : МГ = 3:2 надо было вагончики выпускать на погрузочной станции промывных устройств в таком порядке: КГ, КГ, МГ, КГ, МГ и т. д. Отсюда ясно, что наличие одного бункера с галькой значительно сокращает при проектировании бетонов возможные пропорции крупной и мелкой гальки (впрочем, на практике они и приобретают немного значений) и может явиться причиной неравномерности гранулометрического состава гальки в замесе в том случае, если замес изготавливается, когда в бункере мало материала и материал только что насыпается.

Бункеры суживаются книзу и кончаются мерными приборами. Мерные приборы фирмы Блау Нокс расположены ко второму этажу, они полуавтоматические (рис. 16). Инертные отмериваются по объему, не-

¹⁾ На днепростроевском бетонном заводе емкости бункеров под каждой бетоньеркой соответствовали кубатуре бетона: для инертных около 115 м³ и для цемента около 200 м³.

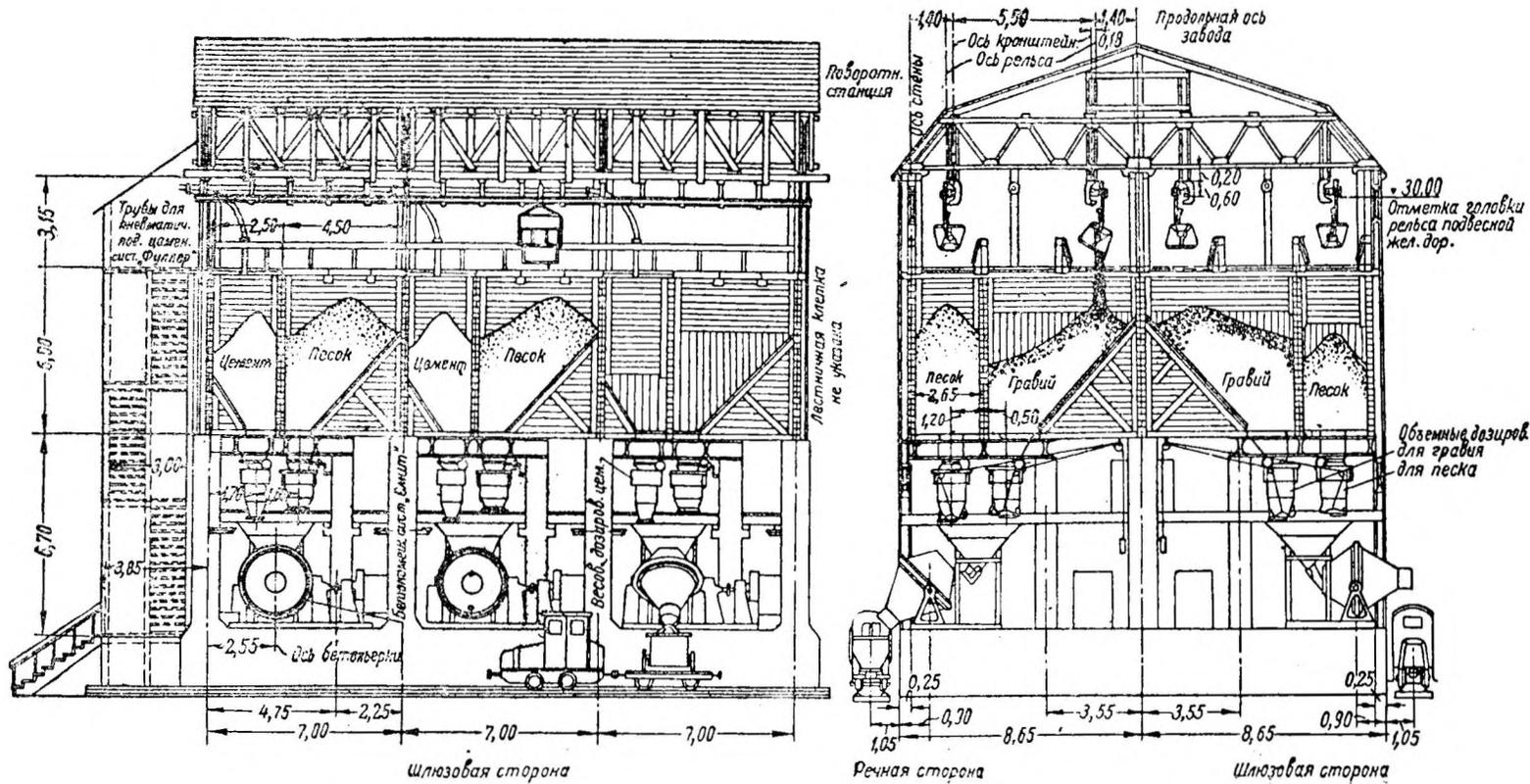


Рис. 15. Продольный и поперечный разрезы бетонного завода

мент по весу. Мерные приспособления для инертных состоят из верхнего ящика без дна и нижнего ящика немного больших размеров. Нижний ящик висит на болтах и подтяжкой гаек может быть поднят кверху и надвинут на верхний ящик на высоту, отвечающую произведенной подтяжке, благодаря чему в определенном порядке изменяется объем заполнения мерного приспособления. Нижний ящик кончается

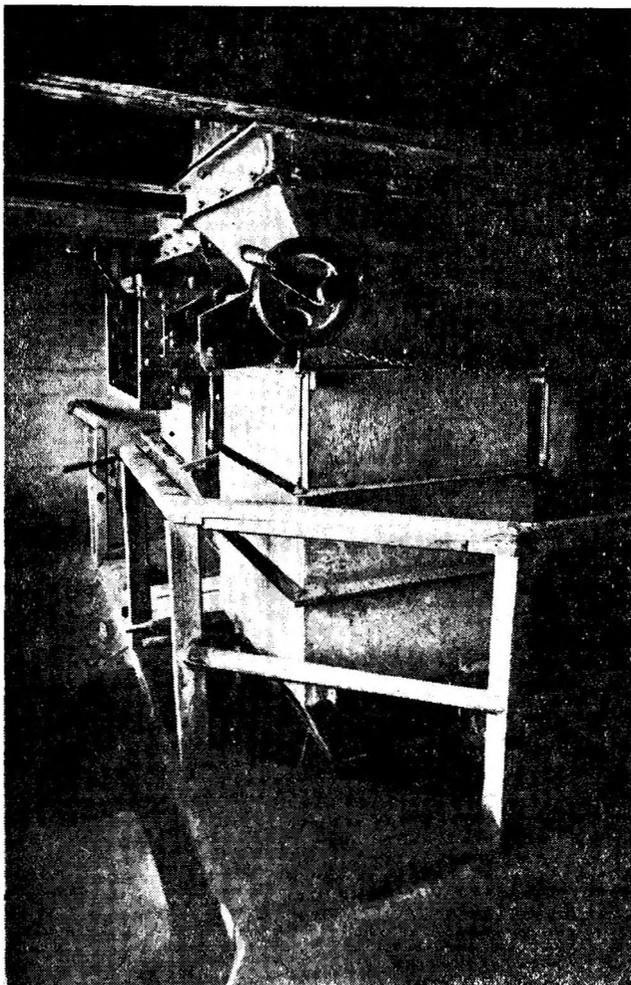


Рис. 16. Мерный ящик для песка и цементные весы.

снизу крышкой, которая открывается при выдаче дозы инертного в бетоньерку.

Верхний ящик перекрывается горизонтальным шиберным затвором, по открытию которого инертные из бункера начинают поступать в мерные приспособления. Шибер с двумя зубчатыми рейками передвигается шестеренками, сидящими на валу, который вращается от руки.

Установка мерных ящиков инертных на определенную дозу производится соответственной подтяжкой болтов сравнительно медленно и

с применением гаечных ключей. Такое устройство гарантирует от изменений дозировки инертных кем-либо помимо определенного лица из технического персонала. С другой стороны, такое устройство в большой мере фиксирует определенное значение отношения между галькой и песком, что не (всегда может оказаться выгодным, если из одной и той же бетоньерки приходится давать бетоны, резко отличающиеся по стоимости. Освобождение мерных ящиков происходит сразу и без поколачивания но ящикам, так как материал в ящиках совершенно не задерживается.

Цементные весы были типа десятичных. На коромысле бегунок устанавливался на определенном делении рабочим. Поворачивая специальную ручку, рабочий задавал порции цемента в весы пока стрелка на циферблате не останавливалась на нуле. После этого доза цемента, выпускалась в бетоньерку. Весы приходилось встряхивать шутком открытия и закрытия выпускной крышки, чтобы окончательно освободить их от взвешенной порции.

Мерных цилиндрических бачков для воды при каждой бетоньерке два, каждый из них был закрыт со всех сторон, внутри их было цилиндрическое корытце. При различном повороте корытца из наполненного бачка должно вытекать количество воды, различное и соответствующее данному наклону корытца. Корытце было соединено с наружным рычагом, который передвигался по дугообразной шкале и закреплялся на нужном делении. Бачок представляет перед обычными водомерными устройствами с показанием уровня воды посредством водомерного стекла некоторое преимущество, так как здесь не приходится встречаться с постепенным загрязнением стекла с делениями. Все мерные приспособления были простой и надежной конструкции. Манипуляции с мерными приспособлениями для инертных и цемента производились рабочим-дозировщиком. Воду пускал второй рабочий, который называется рычажником, так как он управляет рычагами бетоньерки.

Из мерных приспособлений инертные и цемент засыпались в передбетоньерочный бункер. Порядок заполнения бетоньерки был таков: сначала засыпался песок и одновременно задавалась основная порция воды, только после этого засыпался цемент, который, попадая в бетоньерку с песком г.г. водой, не пылил. Последней засыпалась галька, она своей тяжестью очищала передбетоньерочный бункер. Одновременно подавалась добавочная порция воды. Рабочий-дозировщик деревянной палкой тщательно очищал передбетоньерочный бункер, после чего давал сигнал рычажнику, который и закрывал входной лоток бетоньерки. Таким образом путь прохождения сухих составляющих целиком находится в условиях непосредственной обозримости дозировщиком и нет никаких закрытых лотков, создающих обычно лишнюю причину к неравномерности попадающих доз в бетоньеру. Несмотря на то, что дозы отмерены были правильно. П. особенности в случае цемента лотки являются причиной задержек и заторов материала.

Бетоньерки обычной конструкции фирмы Смита с барабаном двуконической формы, вращающимся в опрокидывающейся раме. Бетоньерка приводилась от мотора в 30 ЛС через посредство зубчатой передачи. Любопытно отметить, что все части каждой бетоньерки окрашены фирмой в свой особый цвет, что облегчило индивидуальную сборку бетоньерок. Бетоньерки системы Смит при вращении своим не теряют раствора. На Днепре при бетоньерке системы Шаг сдвигающимся снизу для опорожнения бетоньерки щитком всегда было неко-

торое вытекание раствора, так как и при невинутном положении щитка на него попадала часть раствора и стекала, на землю. Надежнее те конструкции щитков, которые входят в бетоньерку сверху. Бетоньерка Смит, как известно, щитков для опорожнения не имеет совсем. Она требовала более частой очистки лопастей. Вращение бетоньерки продолжалось $2\frac{1}{2}$ мин. Опыт установил предпочтительности вращения в $2\frac{1}{2}$ мин по сравнению с 2 мин, которые применялись на Днестре и которые там были вполне достаточны. Сказывается ли здесь система бетоньерки или сказываются различные свойства бетонных составов на Днестре и Свири осталось невыясненным. Каждая бетоньерка снабжена автоматическим часовым аппаратом. Этот аппарат автоматически начинал работать в момент закрытия впускного люка бетоньерки. Одновременно аппарат запирает опрокидывающуюся раму бетоньерки и бетоньерку нельзя было опрокинуть, т. е. освободить ее от замеса. В конце установленного срока, т. е. в данном случае 2,5 мин, аппарат переставал работать и давал резкий звонок. Одновременно размыкался замок опрокидывающейся рамы и представлялась беспрепятственная возможность к опорожнению бетоньерки. Аппарат вел учет замесов.

Приготовленный бетон со стороны шлюза выгружался непосредственно в бадью. Со стороны реки бетоновозные нута в первые годы бетонировки были расположены на 7 м ниже бетонного завода. Можно было бы здесь подвести пути к заводу выемкой и выдавать из бетоньерки в бадью через лоток. Но в таком случае пришлось бы снять часть откоса против бетонного завода, а так как под бетонным заводом залегал слой пльвуна толщиной 5 м, то устройство выемки могло бы привести к обрушению завода. Поэтому устроили специальную деревянную галерею длиной 30 м. В галерее вдоль ходила подвесная бадья. Бадья наполнялась бетоном из бетоньерки, передвигалась руками на конец галереи и там бетон по лотку спускался в бадью мотовозного поезда. Этот случай характерен для слабых свирских грунтов и тех затруднений, которые причиняли строителю свирские пльвуны и девонские глины. Интересно отметить, что когда впоследствии начали в соответствии с проектными указаниями разработку берегового откоса около бетонного завода, то получились массовые оползни. Продолжение разработки угрожало безусловно бетонному заводу, и исход был найден в том, что пльвун, лежащий непосредственно под бетонным заводом, захватили в корсет из шпунта и тем самым давление от завода передали на плотные слои грунта.

Кроме бетонов, бетонный завод осуществлял и другие выдачи, в частности, и такие, которые не требовали перемешивания. В проектах производства работ необходимо предусматривать подобные выдачи (не обязательно через бетонный завод), а также желательно предвидеть простые способы опорожнения заводских бункеров помимо мерных приспособлений. С завода отправлено было на строительные участки до 200 000 м³ инертных для разных надобностей. В частности, с завода направлялись мытые погринские песок и галька для устройства дренажной подголовки под сооружениями (средний и верхний слои подготовки). Инертные материалы вначале выдавались через бетоньерку, но такая выдача понапрасну загружает и изнашивает бетоньерку и слишком дорога. Впоследствии прибегли к лоткам, которые выходили из бункеров завода, минуя бетоньерку. При проектировании бетонных заводов следует предусмотреть выдачу инертных материалов из завода помимо бетоньерок. Также следует предусмотреть рациональные спо-

собы освобождения цементных бункеров от цемента. Иногда, несмотря на всю тщательность в приемках цемента, бывают случаи попадания в бункер бетонного завода скоросхватывающегося цемента. Иногда же попросту возникает нужда заменить цемент, находящийся в данном бункере бетонного завода, на цемент другой марки. Бетонный завод систематически приготавливал цементное молоко, которое при начале бетонирования блока разливалось по старому бетону и растиралось по нему щетками. Необходимо оно было для создания лучшей связи между старым и новым бетоном по горизонтальному стыку. Водоцементное отношение в цементном молоке равнялось 0,60. Цементное молоко приготавливалось в среднем 0,4% от общего количества массивного бетона. Цементное молоко для своего изготовления требует хорошего и длительного перемешивания в бетоньерке, и в периоды массовых бетонировок изготовление цементного молока чувствительно нарушает синхронность работы бетоньерок. Возникает нужда в постановке на заводах специального устройства для приготовления цементного молока. Опыт показал необходимость предусмотрения проектом изготовления шлакового бетона, если таковой предполагается к укладке. На Свирьстрое пришлось в процессе эксплуатации завода создавать специальную установку, приспособляясь к уже существующим конструкциям. Рядом с заводом стоял вантовой деррик, который поднимал шлак в специальный бункерок на уровне верхнего этажа завода. От бункерка шлак подвозился к бункерам завода на тачках.

Трата электроэнергии для механизмов бетонного завода выражалась в среднем, в 1,2 квт-ч/м³ бетона.

Таблица 4

Стоимость валового бетона на 1 м³ изготовленного бетона

Статья затрат	Прямые расходы	Накладные расходы на зарплату	Административно-хозяйственные расходы и разкладные расходы	Амортизация оборудования	Износ сооружений и погашение монтажа оборудования	Сумма
	в рублях и копейках					
Цемент	15—61	—	—	—	—	15—61
Инертные	7—78	—94	1—68	—51	1—07	11—98
Вода	—19	—2	—2	—1	—5	—19
						27—33
Подача цемента	1—10	—21	—30	—35	1—30	3—26
Подача инертных	1—12	—29	—38	—25	—76	2—70
						5—96
Подогрев в зимнее время воды и инертных	—26	—4	—3	—5	—13	—51
Приготовление бетона	1—35	—28	—85	—18	1—20	3—86
Всего	27—41	1—78	3—16	1—35	4—51	37—66

Калькуляция стоимости бетона, уложенного в сооружение

Р о д з а т р а т	Единичная стоимость на 1 м ³	
	плотина	шлюз
	в рублях и копейках	
I. Бетон		
1. Стоимость бетона	38—49	37—43
2. Доставка мотовозами	2—65	2—36
3. Подача дерриками	3—05	2—37
4. Кладка бетона	6—47	3—42
5. Водоснабжение	—38	— 9
6. Отпление (пар)	3—47	1—44
7. Работа компрессора	—45	— 9
8. Прочие расходы	—96	—51
	55—92	47—71
II. Опалубка		
1. Изготовление в мастерской и на участке	2—08	1—12
2. Доставка	—21	—12
3. Подача дерриками	—53	—65
4. Установка	2—94	2—88
5. Прочие расходы	—74	—25
	6—50	5—02
III. Арматура		
1. Стоимость арматуры (0,016 и 0,026 т/м ³)	4—03	6—00
2. Доставка	—23	—11
3. Подача дерриками	— 9	—14
4. Установка	—90	—52
5. Прочие расходы	—15	—08
	5—40	6—85
IV. Вспомогательные работы		
1. Плотничьи работы	2—41	—99
2. Вспомогательные работы	2—04	1—41
3. Работа дерриков	1—09	—62
4. Путевое хозяйство	—51	—52
5. Погрузка, разгрузка	—35	—40
6. Услуги мастерских, водопроводные, буровые, взрывные работы	—40	—25
	6—80	4—19
V. Бетонная инспекция и наблюдение по зимнему бетонированию	—98	—99
VI. Премии	—20	— 8
VII. Водонепроницаемые и асфальтовые работы	—	—89
В с е г о	75—80	65—73

О средних стоимостях валового бетона на 1 м^3 дает представление табл. 4 на стр. 189. Стоимости отвечают среднему расходу материалов на 1 м^3 бетона: цемента — 296 кг, песку — $0,51 \text{ м}^3$ и гальки — $0,87 \text{ м}^3$. Средняя цена цемента за тонну 51 руб. 22 коп. Трата воды учтена полностью (изготовление бетона, промывка бетоньерок и пр.).

Чтобы можно было судить о размерах отдельных затрат при укладке бетона дается калькуляция стоимости бетона (табл. 5) за 1932 г. по плотине без рисбермы и шлюзу (соответствующие кубатуры бетона 22 229 И 70 917 м^3).

§ 5. Бадья

Перевозка бетона происходила в бадьях фирмы Стюбнера на $1,5 \text{ м}^3$ бетона (рис. 17). Бадья состоит из кузова с коромыслом и днищем, рычагов управления и запорного устройства. Кузов имеет суживающуюся книзу форму, что позволяет более точно направлять массу, особенно в узкие места подачи бетона. Наряду с этим, суживающаяся форма, казалось бы, должна сказаться в известной мере на скорости опорожнения бадьи и на легкости очистки стенок бадьи. В этом отношении следует отметить, что заметных практических неудобств при работе с бадьей Стюбнера не наблюдалось как в случае транспортировки пластичного бетона для массивных сооружений, так и транспортировки литого бетона для железобетонных частей. Внутри кузова бадьи поставлена распорка жесткости. Осталось невыясненным, действительно ли необходима эта распорка для сохранности формы бадьи, и в случае применения бадьи Стюбнера на какой-либо стройке не мешает испробовать, нельзя ли обойтись без распорки, в известной мере стесняющей поперечное сечение бадьи. Днище бадьи состоит из двух створок, плотно прилегающих друг к другу и к боковым стенкам. В эксплуатации створки снашиваются и между ними получается зазор в 2—3 мм, который существенного значения для нормальной работы бадьи не имеет. Наполненная бадья подвозится к месту укладки, где забирается дерриком за коромысло. В блоке бадья подносится к месту непосредственной укладки и останавливается на высоте около 1 м от поверхности бетона. Здесь рабочие берутся за рычаги управления и, оттягивая их от стенки бадьи вверх, раскрывают створки днища. Рабочим достаточно перевести рычага через мертвую точку, как бетонная масса раскрывает бадью собственным весом. Поэтому раскрытие бадьи и производится сравнительно с небольшим усилием. В нормальных условиях для этого достаточно усилия одного рабочего. Нормальные условия сохраняются аккуратной очисткой бадьи от остатков бетона в особенности там, где может создаться препятствие движущимся частям бадьи. Ценная особенность бадьи Стюбнера — это малая величина рычагов и расположение их под наклонной частью кузова. Благодаря этому механизм сохраняется лучше, так как сокращается возможность задевать рычагами, при опускании бадьи в блок и обратном поднятии, за какие-либо выступающие части (арматуру и др.), а также достигается безопасность в работе, так как рычаги, выведенные из мертвого положения, с большой силой двигаются под влиянием давления бетонной массы на створки днища, и в данном случае конец рычага описывает малую окружность. Бри длинных рычагах у днепростроевской бадьи было несколько случаев ушибов неосторожных рабочих. При закрытии бадьи рычаги не имеют мест, тесно соприкасающихся с частями стенки. Это.

также удобно. На Днепрострое рычаг должен был быть туго заведен за замок и были случаи, когда при закрытой бадье рабочие получали ранения, попадая пальцами между рычагом и замком. Когда наполненная бадья стоит на вагончике, тогда без всякого пояснения понятно, что бетонная масса не может вылиться, так как створки не могут никак раскрыться. При висячем положении на гаке бадья в нормальных условиях также не может раскрыться. В закрытом состоянии рычаги расположены так, что вес бетонной массы стремится не раскрыть створки, а напротив того он их закрывает. Чтобы бетонная масса начала действовать в обратную сторону, необходимо, чтобы какая-то посторонняя причина перевела рычаги управления через мертвую точку. Этой посторонней причиной обычно является рука рабочего, но не исключена возможность того, что при опускании бадьи ударится обо что-либо рычагом и раскроется, тогда четырехтонная масса бетона упадет вниз с большой высоты. Такие случаи и были на Днепре. Бадья Стюбнера имеет гарантию против непредусмотренного раскрытия в виде специальной щеколды. Подобные же щеколды пришлось по свирскому примеру поставить на бадьях основного днепровского типа. Свирская бадья имеет ограничитель раскрытия, благодаря которому можно регулировать щель для прохода бетона. Это может принести пользу при необходимости особо точной установки бадьи при опорожнении и при необходимости замедленного опорожнения. Достоинства свирской бадьи были приняты во внимание на Днепрострое при изготовлении серии бадей в дополнение к импортному комплекту и должны быть приняты во внимание при организации отечественного заводского изготовления бадей. Вес бадьи около 1 т, с бетоном около 5 т. Число бадей было 70. Цена бадьи около 450 долларов за штуку.

На бадье делался крючок, на который вешался учетный металлический жетон. Жетонный расчет в условиях механизированной стройки и наличия ряда отдельных хозяев, производителей работ, является весьма важным организационным и хозяйственно-учетным мероприятием. Изготовление жетонов должно представлять некоторые затруднения к их кустарному воспроизведению и злоумышленному применению. Поэтому следует, и это вполне достаточно, в механических мастерских вырезать металлические кружочки и отштамповывать на них надпись, определенную для каждого рода продукции бетонного завода. Жетон представителем бетонного завода навешивается на крючок бадьи и снимается рабочим в блоке. Рабочие в конце смены жетон сдают десятнику и оплату за свой труд получают по числу сданных ими жетонов. Жетонами десятник отчитывается за свою работу перед прорабом. Автор знает несколько случаев неудачных попыток жетонного учета, несмотря на кажущуюся простоту этого мероприятия. При правильной постановке дела жетоны хранятся в конторе бетонного хозяйства, на жетоны же, находящиеся в работе, в конторе лежат расписки, которые на следующий день должны покрываться возвратом жетонов. Учет ежедневного движения жетонов ведется в особой книге.

§ 6. Транспорт бетона к месту укладки

Транспорт бадей с бетоном от бетонного завода к месту укладки и пустых бадей обратно мог происходить помощью ширококолейного, автомобильного и узкоколейного транспорта. Автомобильный транспорт в то время не мог привлечь серьезного внимания, так как, не было еще

созданной теперь мощной советской автомобильной индустрии, и импортный завод машин был сильно ограничен. На Днепрострое были применены ширококолейные поезда. На Свири они не пригодны были

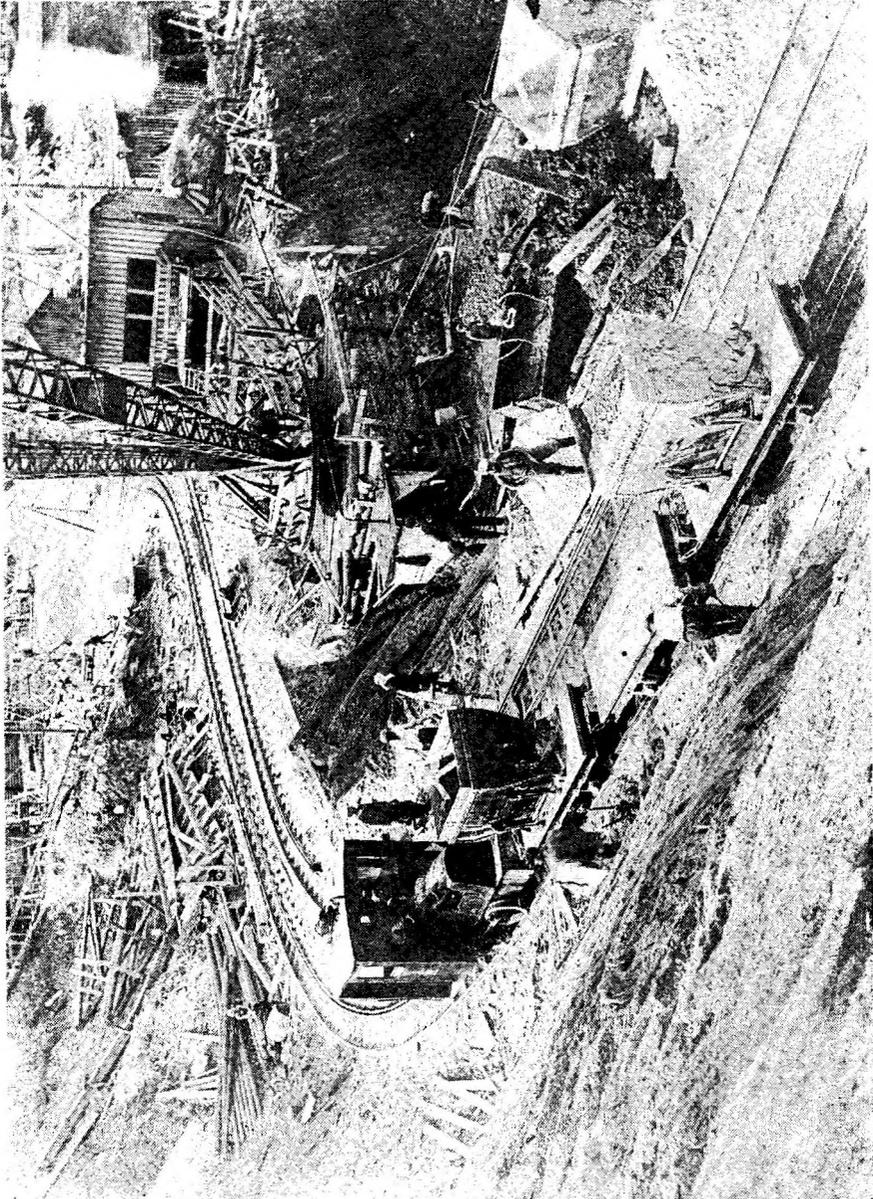


Рис. 17. Бетонный поезд.

вследствие загроможденности строительной площади и извилистости путей подачи бетона. В конце концов принят узкоколейный вариант при ширине колеи в 750 мм, причем при выборе главного механизма остановились не на паровозе, а на мотовозе (рис. 17) по соображениям

пожарной безопасности. Узкоколейные паровозы если и были, то они работали по вывозке грунта из котлованов, не загроможденных лесами, и опалубками. В табл. 6 даем характерные сведения о мотовозах советских и немецких, примененных на Свирьстрое (по данным инж. Жданко А. А.).

Таблица 6

Д а н н ы е	Красный	Гумбольд-Дейцмоторен	
	Путиловец	OMZ-122	MLH-332
Вес мотовоза (т)	6	7	6,2
Полная длина с буферами (мм)	4 600	4 760	4 600
База (мм)	1 200	1 000	930
Тип двигателя	„Фордзон“ 4-тактный	Дизель 2-тактный	Дизель 4-тактный
Число цилиндров	4	2	1
Мощность двигателя (ЛС)	20	36/40	24/26
Первая скорость (км/час)	2,45	5,5	6
Вторая „ „	4,3	8	15
Третья „ „	11	14,5	—
Сила тяги при 1-й скорости (кг)	1 250	1 400	870
„ „ „ 2-й „ „	625	875	300
„ „ „ 3-й „ „	250	450	—
Число (шт.)	14	3	10
Цена	13 000 руб.	14 500 марок	9 700 марок

Сравнение двух типов мотовозов с двигателем автомобильного типа и дизельным двигателем установило все преимущества последнего: простота в управлении, отсутствие капризного электрического зажигания, пониженные требования к качеству топлива, солидность и надежность деталей.

Вагончики были получены от костромского завода в количестве 70 шт. На каждом вагончике умещалась одна бадья, в поезде их было 2—4. В составе один вагончик шел пустым. Поезд сначала подходил к первому месту укладки, здесь деррик ставил на свободную платформу висевшую на его гаке пустую бадью и брал бадью с бетоном, чем освобождал платформу для постановки пустой бадьи следующего деррика. Вагончики работали вполне хорошо. В процессе эксплуатации пришлось быстро изнашивавшиеся чугунные колеса и слабые пружины заменит, стальными колесами и более прочными пружинами. Пути для доставки бетона проектировались кольцевыми и в редких случаях были тупиковыми. Основное кольцо для подачи бетона на платформу и силовую станцию было протяжением 900 м, а на шлюз — 1500 м. Ход мотовозного поезда по кольцу продолжался 30—40 мин. Производители работ не могли полностью использовать закапываемые на сутки мотовозы. Обычно на рабочее состояние мотовозов приходилось 80% времени, а 20% мотовозы стояли в гараже. Производительность мотовозной возки бетона оказывалась в 3,5—6 м³ на час чистой работы. Таким образом один мотовоз за сутки давал до 150 м³. Отметим, что для ширококолейного паровоза на Днепре соответствующая цифра была 180 м³. Мотовозная возка обладает рядом преимуществ. Узкоколейные пути:

укладываются сравнительно легко и как угодно переносятся. В отношении нетребовательности к верхнему строению и земляному полотну мотовозная возка никак, не может сравниться с широкой колеей. Кривые при мотовозной возке могут быть до радиуса 20 м. В отношении безопасности мотовозы имеют ряд преимуществ. Сход мотовозов с рельс и даже падение мотовоза не вызывает больших затруднений при ликвидации происшествия. Возможность столкновения ограничена и не приводит к сравнительно тяжелым последствиям. Весь транспорт бетона при применении мотовозной возки протекает в спокойных мирных тонах и далек от напряженной и нервной обстановки, создаваемой применением мощных паровозов. В отношении стоимости оборудования и капиталовложений мотовозная возка также имеет ряд преимуществ. Мотовозная возка, кроме транспорта бетона, большую роль сыграла в вывозке грунта из котлована. Невидимому в ряде случаев на будущих стройках следует использовать преимущества мотовозной возки. К недостаткам мотовозной возки относится отсутствие оборота подвижным составом с нормальным железнодорожным транспортом, невозможность обойтись одним узкоколейным транспортом на площадке и необходимость ввода вглубь строительной площадки ширококолейного пути для части грузов, прибывающих на стройку извне (цемент, части оборудования и пр.) и частично из других частей строительства (опалубочные щиты, лес и др.).

§ 7. Деррики

Механизация подачи бетона в блоки осуществлялась помощью вантовых металлических дерриков (рис. 18). Тяжелые передвижные подъемные краны не годились для Свирьстроя (слабые грунты, стесненность строительной площадки). На Свири работало 30 вантовых дерриков различных систем (американские, германские и советские). Грузоподъемность дерриков была 6, 10 и 15 т, высота мачты 35—43 м, длина стрелы 30—33 м, скорость подъема 0,3 м/сек (у советских — 0,7 м/сек). Свирский опыт дал ряд ценных указаний нашим заводам для проектирования рациональных конструкций дерриков и, в частности, показал необходимость освоить заводам серийное производство дерриков большой грузоподъемности 15—20 т. Деррики при хорошей загрузке давали за смену в среднем 60—70 подъемов, а в отдельных случаях (при малых углах поворота) до 135 подъемов. Стоимость эксплуатации дерриков определялась приблизительно в 6 руб. 50 коп. за календарный час. Упомянем, что на Свирьстрое был жесткий катучий деррик-кран силой 20 т со стрелой 30,5 м. Он имел слабое применение в укладке бетона. Основное предназначение его было монтаж сборного железобетонного каркаса силовой станции.

§ 8. Арматурные мастерские

Арматурные, мастерские Свирьстроя состояли из заготовительного и электросварочного цехов. Заготовительный цех состоял из двух отделений. Каждое отделение было оборудовано двумя станками для гнутья и двумя ножницами. В первом отделении оборудование было германское: станок «Рекорд-Футура» с загибающим устройством в виде гитары и станок «Фабриция-Футура» с дисковым загибающим устройством. Второй прибор оказался удобнее в работе и обеспечивал боль-

шую производительность и поэтому один русский гитарный станок переделали на дисковый. В дисковых станках не надо перед каждой закладкой приводить изгибающее устройство в исходное наложение,

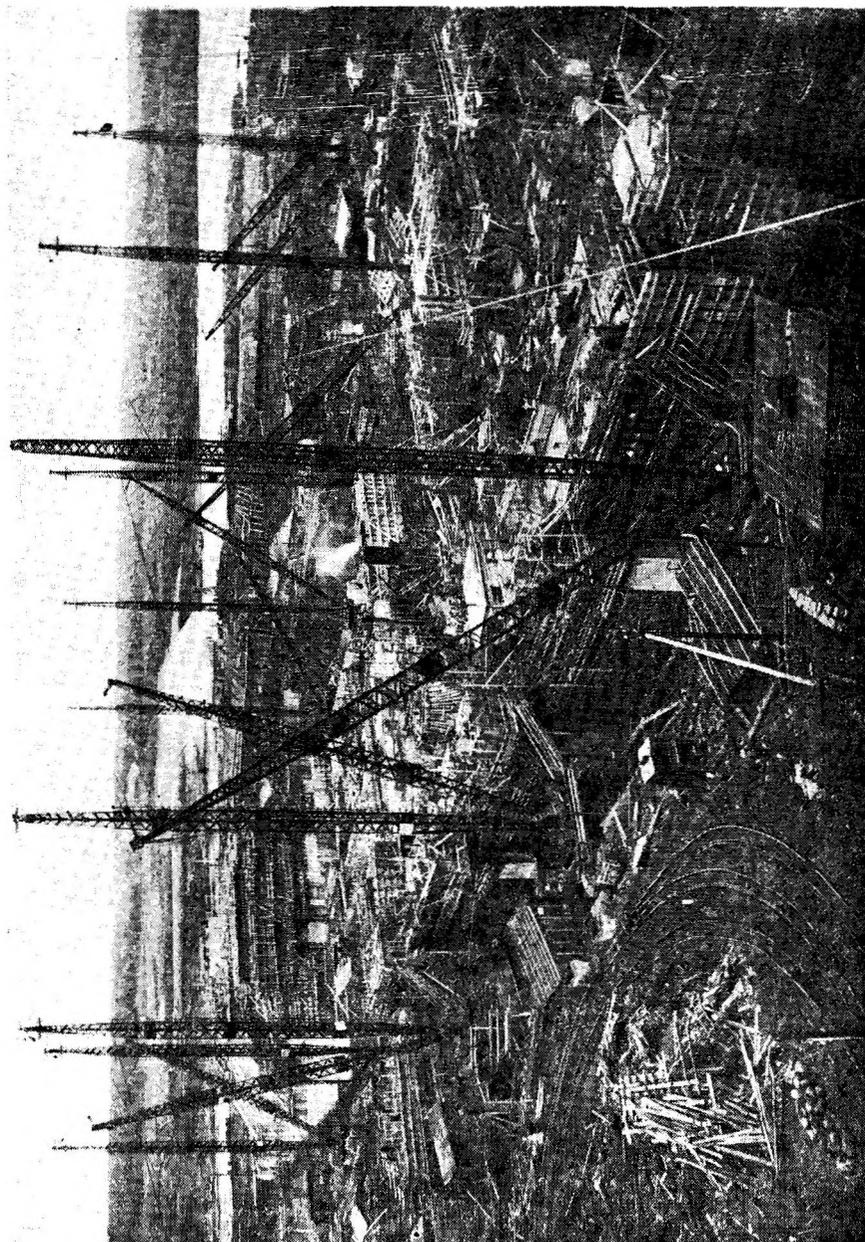


Рис. 18. Деррики

переводя машину на реверсивный ход. Ножницы были «Ромрик-Футура». Во втором заготовительном отделении оборудование было советское — «Строймеханизация» (тип СМ 28). Станки были но типу «Рекорд».

Работали главным образом (процентов на 75) на германских станках. Русские станки — первые образцы выпусков серийного производства и по качеству уступали импортным прототипам (грубое изготовление составных частей и плохая пригонка их). Обнаружившиеся недостатки были учтены Строймеханизацией, и заводы при следующих выпусках станков добились хороших результатов.

В сварочном цехе работали германские аппараты (фирма SOAG; один аппарат типа ST-100 и 2 аппарата типа ST-75) и русский (завод «Электрик», тип АС-26). Русский аппарат АС-25 (также первого выпуска советского завода) работал вполне удовлетворительно по линии электрооборудования и в электрическом отношении допускал значительную перегрузку, в механическом отношении аппарат оказался слабее заграничных, из-за чего ставился на более мелкую арматуру (до $1\frac{1}{4}$ "). С этой арматурой аппарат справлялся хорошо.

Опыт Свирьстроля показал, что не следует обязательно электросварочный цех выносить в отдельное здание. Помещением отдельных электросварочных машин в заготовительном отделении можно достигнуть большей простоты операций и удешевления продукции (в особенности для прутьев до 12—14 м).

На Свирьстрое было заготовлено арматуры за срок 1930—1934 гг. всего около 16 000 т (диаметром $\frac{1}{4}$ —2", преимущественно $1\frac{1}{2}$ "). Количество механизированной заготовки составляло около 85%. Максимальная производительность мастерских доходила до 40 т в сутки и до 1000 т в месяц. Благодаря наличию электросварочных аппаратов мастерские выдавали на строительные участки прутья длиной до 35 м. Стоимость электросварки на 1 т сваренной арматуры выражалась в 8—9 руб. При испытании сварной арматуры в 85% случаев разрыв происходил не по месту сварки.

§ 9. Опалубочные мастерские

Опалубочные мастерские изготовляли разного рода опалубку для бетонных работ и различные вспомогательные деревянные конструкции. Оборудование заготовочной состояло из пил: торцовочной маятниковой, продольной циркульной и ленточной для криволинейных частей и из станков: строгального четырехстороннего пятиножевого, фуговочного и фрезерного для выборки шипов и торцовых фасонных соединений. Сверловочного станка не было, было несколько электросверл для высверливания отверстий диаметром $\frac{1}{2}$ — $1\frac{1}{2}$ ". Внутрицеховой транспорт, состоял из узкоколейных и ширококолейных вагонеток и из трех порталных деревянных кранов. На порталных кранах подъем производился талями в 3 и 5 т. Опалубка изготовлялась криволинейная и плоская. Первая стандартных размеров не имела, вторая по преимуществу состояла из стандартных щитов длиной 6,4 м и высотой 2—4 м (рис. 19). За 1 м² плоского стандартного щита рабочим платили 50 кон.

§ 10. Бетонный двор

Бетонный двор общей площадью 7500 м² был расположен неподалеку от промывных устройств. Инертные подавались со окладов промывных устройств узкоколейными вагончиками (колея 750 мм) и

двумя передвижными конвейерами («стрекозами») поднимались в бункеры бетонного завода. Бетонный завод состоял из двух бетоньерок, системы Егера с объемом замеса 375 л каждая. Подача цемента производилась узкоколейными вагонетками. Бетонный двор был перерезан 4 линиями ширококолейных и 2 линиями узкоколейных путей. По последним, в частности, к местам укладки подвозили бетон в деревянных ящиках, поставленных на рамах узкоколейных вагончиков. Для погрузки, перекладки изделий и для подачи бетона применялись 2 крана на ж. д. ходу подъемной силой: один — 3 т, другой — 20 т. На бетонном дворе изготовлялись различные бетонные и железобетонные изделия, но в основном были забетонены части сборного железобетонного каркаса, силовой станции. Роль бетонных дворов на наших гидростройках должна расти, и на строительстве Верхневолжской установки предполагается большое использование заводских приемов изготовления бетонных и железобетонных частей.

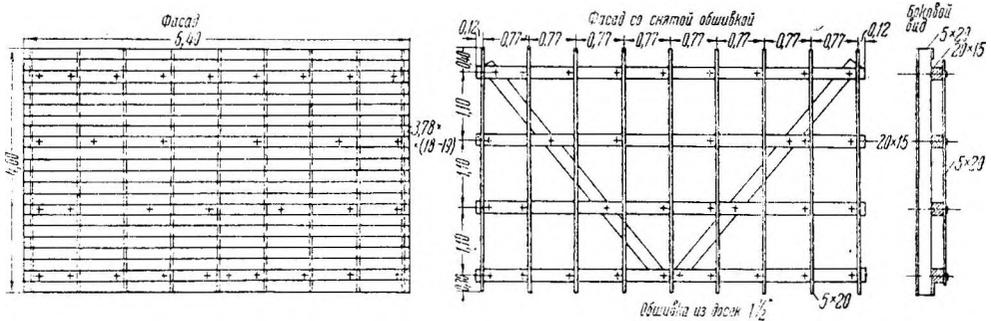


Рис. 19. Стандартный опалубочный щит.

§ 11. Лесопильный завод

Лесные материалы для надобностей бетонных работ так же, как и для других работ, получались с собственного лесопильного завода. Опыт всех больших гидростроек в достаточной мере доказывает необходимость автономного лесного хозяйства для отройки.

Оборудование лесозавода состояло из двух лесопильных рам «Пирвица», рамы Болиндера, рамы Гофмана, рамы завода «Ильич» (270 оборотов), двух зеймеров Болиндера, торцорезки балансирной педальной, дроворезки, ребровою и строгального трехножевого станка. При лесозаводе были деревообделочные мастерские с сушилкой при них. Стоимость пиломатериалов оказалась на 10—20% ниже стоимости пиломатериалов, доставлявшихся иногда на строительство со стороны. За счет этой разницы вся стоимость завода, была погашена за время постройки полностью. Лесокомбинат направил на работы строительству около 350 000 м³ пиломатериалов и около 200 000 м³ круглого леса.

Осуществлением свирьстроевской (равно как и днепростроевской) механизации бетонных работ советскими инженерами пройден определенный этап по пути освоения заграничной техники.

На Волховстрое в начале стройки при камнедробильных и бетонных заводах полукустарного типа на 1 м³ изготовленного бетона приходилось 2—3 выхода производственного персонала. Волховстроевские инженеры в 1923—1924 гг. запроектировали механизацию бетонных работ и осуществили ее, используя имевшиеся в то время в стране материалы и механизмы.

В целях краткой характеристики волховстроевской механизации бетонных работ укажем, что максимальная кладка бетона с правобережного завода достигала 1000 м³ за сутки. При механизации на Волховстрое на 1 м³ бетона, изготовленного и доставленного к месту укладки, приходилось (по данным правобережного завода.) 1,5—1,7 выхода производственного персонала.

Днепрострой осуществил мощную механизацию бетонных работ. Ручной труд на Днепрострое, по ряду причин, сохранился лишь в погрузочно-разгрузочных операциях с цементом и песком. Свирьстрою удалось осуществить механизацию бетонных работ, касавшуюся всех сторон строительного процесса. В качестве одного из руководящих принципов при проектировании механизации на Днепре и Свири было положено сокращение числа параллельно работающих механизмов и параллельное усиление мощности каждого из них (полторакубометровому замесу отвечала емкость бетоньерок, бабьи и подъемная сила деррика). О степени механизации работ можно судить по средней электровооруженности работника на смене бетонного хозяйства: она была равна в среднем 25—30 ЛС. При свирьстроевой механизации на 1 м³ бетонной массы франке блок необходимо считать характерной средней цифрой 0,45—0,65 выхода производственного персонала (разгрузка инертных и цемента, бетонное хозяйство, содержание путей и работа дерриков по укладке бетона). Создание и успешную эксплуатацию свирьстроевской и днепростроевской механизации нельзя иначе рассматривать, как освоение в основном передовой заграничной техники в данной области. В частности, Днепрострой в свое время достиг мирового рекорда месячной кладки бетона (при двух заводах 110 000 м³). Оборудование для механизации обеих строек было в большей своей части импортным. Но процесс перевода строек на отечественные строительные машины, начавшийся уже на Свирьстрое (деррики и пр.), к настоящему времени сильно продвинулся вперед, и строительство Верхнесвирьской установки будет пользоваться исключительно советскими машинами.

Несмотря на достигнутое (в основном) освоение американской строительной техники нельзя никак сказать, что мы полностью догнали Америку. Мы не научились еще так экономно работать, как работают американцы на стройках равного масштаба.

В целях улучшения постановки дела и уменьшения расходов нам необходимо использовать все выгоды, предоставляемые автоматизацией и централизацией управления отдельных механизмов и целых агрегатов, а также — как можно скорее применить на практике новейшие американские конструкции и мероприятия (замена цилиндрических вращающихся грохотов плоскими вибрационными, классификаторы Дорра, электромагнитные питатели, прикрепление ряда бетоньерок к одной секции мерительных устройств и бункеров, широкое применение конвейеров для транспортировки инертных и бетонной массы и т. п.). Все эти возможности рационализации предположены к проведению на Верхнесвирьской установке.

Глава III

ИСПЫТАНИЯ И СОСТАВ БЕТОНА

§ 1. Механическая лаборатория

К концу 1930 г. на месте работ Свирьстроя была организована строительством механическая лаборатория, для оборудования которой были получены из-за границы мощные испытательные машины и различное лабораторное снаряжение. Здание механической лаборатории построено на левом берегу р. Свири в непосредственной близости от бетонного завода и строительных участков. Кубатура здания 2100 м³, площадь — 450 м². Главнейшие помещения таковы: машинный зал, цементное отделение, три комнаты бетонного отделения, химическое отделение, комната специальных опытных работ, две комнаты для камеральных занятий по обработке результатов испытаний, две комнаты для конторы и архива, кладовая, помещение для сторожа и пр.

В состав оборудования машинного зала входят:

1. Гидравлический 500-т пресс Мартенса для испытания бетона, и других материалов на сжатие с приспособлением для испытания балочек длиной до 2.10 м на поперечный изгиб. На этом прессе испытывались контрольные бетонные кубики.
2. Гидравлический 60-т пресс Амслера для испытания кубиков на сжатие с маятниковым манометром и с приспособлением для испытаний коротких балочек на поперечный изгиб. Пресс употреблялся преимущественно для испытания цементных кубиков.
3. Вертикальная 50-т разрывная машина Мора и Федергаффа с фрикционной передачей от электромотора и маятниковым манометром.. Машина находила большое применение для испытания на разрыв образцов железа, бетона и других стройматериалов.
4. Прибор Бурхарта на 6 образцов для испытания бетонных призмочек на водопроницаемость.
5. Мелкие приборы: зеркальные приборы Мартенса для измерения деформаций, мессуры Цейсса и т. п.

Три мощные испытательные машины (и. 1, 2 и 3) вполне отвечали потребности строительной площадки в испытаниях на сжатие, разрыв и изгиб. Отметим попутно, что пресс в 506 т имеется не во всех центральных лабораториях.

Цементное отделение оборудовано всеми приборами, требующимися при механических испытаниях цемента, Здесь находились:

- 1) приборы Вика для определения нормальной густоты цементного теста и для определения сроков схватывания,
- 2) растворомешалка Штейнбрюк-Шмельцера.
- 3) тройной копер системы Клебе-Тетмайера для трамбования образцов из цементного раствора,
- 4) прибор Михаэлиса для испытания цементных образцов на разрыв.
- 5) ситовые барабаны для отсева цемента.
- 6) термостаты для испытаний на равномерность изменения объема и пр.

В химическом отделении имеется поляризационный микроскоп Цейсса, бани водяные, печи муфельные и тигельные, вытяжной шкаф с вентиляторным устройством, весы аналитические, ареостаты Боме,

набор реактивов и всевозможная стеклянная и фарфоровая посуда. Химическое отделение производило химические анализы воды, цемента шлака и пр.

В последние годы стройки для механической лаборатории приобретена холодильная углекислотная установка для испытания на морозоупорность бетонных образцов, кирпича и пр. Холодильная установка смонтирована в специальном здании подле здания лаборатории.

Механическая лаборатория обслуживала строительство в отношении испытания частей конструкций и самых различных строительных материалов, но в основном на лаборатории лежала качественная забота о бетоне: ответственность за свойства бетона в; отношении надлежащей степени прочности, водонепроницаемости, морозоупорности, пластичности и экономичности бетонных составов. Работа механической лаборатории по бетону протекала по двум направлениям. С одной стороны, лаборатория осуществляла всесторонний технический надзор за качеством выполняемых бетонных и железобетонных работ, с другой стороны» выполняла различные исследовательские работы по бетону и железобетону.

Надзор за обстоятельствами изготовления бетона механической лабораторией выполнялся непосредственно и в основном состоял в следующем:

1. Лаборатория из всех партий прибывающего цемента производила отбор контрольных проб и испытание этих проб в соответствии с требованиями общесоюзного стандарта: следила за обстоятельствами хранения цемента в цементных силосах и на окладах материального отдела, и контролировала обстоятельства, направления цемента в дело.

2. Лаборатория следила за надлежащими свойствами инертных, материалов, лежавших на окладе промывных устройств, и следила за качественными показателями инертных, направляемых в бетон.

3. Лаборатория в зависимости от технических проектных заданий и от предназначения сооружений производила проектирование бетонных составов и вела наблюдение за работой бетонного завода; контролировала правильность дозировки путем периодической проверки цементных весов, путем натурального перевеса порций инертных; проверяла действие бетоньерочных часов, периодически проверяла консистенцию бетонной массы и т. п.: производила систематический отбор контрольных бетонных проб с изготовлением контрольных бетонных, образцов на сжатие.

Надзор за обстоятельствами укладки бетона в дело осуществлялся, через посредство бетонной инспекции. Надзор за особыми обстоятельствами зимних бетонировок осуществлялся через посредство создававшейся на зимний период полевой группы наблюдателей.

Контроль прочностных свойств арматурного железа и, в частности, прочности сварных стыков арматуры осуществлялся путем систематического получения в лабораторию из арматурных мастерских образцов арматуры и испытания их на разрыв.

Научно-исследовательские работы лаборатории касались ряда тем, ближайшим образом связанных с потребностями производства, как то:

- 1) уточнение методов подбора гидротехнических бетонов с учетом их плотности;
- 2) разработка методики опытов на водонепроницаемость бетона;
- 3) изучение работы бетона при низких температурах;
- 4) электропрогрев бетона;

- 5) укладка бетона с вибрированием;
- 6) цементация и химическое уплотнение бетона и т. д.

Персонал лаборатории в среднем: состоял из 2 инженеров, 3 техников, 1 химика, 2 мастеров, 1 механика, 1 хозяйственного агента и 10 рабочих. Механическая лаборатория входила в состав бетонного хозяйства. Нахождение лаборатории в составе производственного цеха представляет ряд выгод и в данных местных условиях оказалось удачным. Тем не менее, так как ряд функций механической лаборатории имеет контрольный характер, невидимому, более правильным является организационное подчинение лаборатории технической части. Под конец стройки лаборатория вместе с подчиненными ей бетонной инспекцией и постовой группой наблюдателей входила в состав контрольно-исследовательского отдела технической части места работ.

Бетонная инспекция состояла из 7—23 инспекторов в зависимости от разворота работ. Представители бетонной инспекции несли непрерывное дежурство и постоянно присутствовали на местах укладки бетона. Весьма важно отметить, что бетонная инспекция осуществляла контроль не последующий, а сопутствующий. Указания дежурного инспектора были обязательными для сменного производственного персонала и могли быть отменены лишь распоряжением старшего производителя работ данного участка. Разногласия между старшим инспектором и старшим производителем работ разрешались начальником работ. Обязанности бетонной инспекция в основном заключались в следующем:

1. Инспекция вела систематические наблюдения на бетонном заводе за исполнением правил, установленных механической лабораторией для изготовления бетона.
2. Наблюдала за транспортировкой бетона с момента выхода бетона с завода до момента укладки в блок, за надлежащим наполнением бадей, за чистотой бадей, за снабжением бадей покрывками и пр.
3. Производила осмотр и приемку блоков и других частей, подготовленных к бетонированию.
4. Следила за надлежащим креплением опалубки.
5. Следила за хорошим состоянием арматуры и за чистотой ее.
6. Следила за техникой правильной проработкой и укладкой бетона как в массивных блоках (надлежащая быстрота укладки, полное утрамбовывание, отброска галечных зерен от опалубки, обработка галечных скоплений и пр.), так и в железобетонных конструкциях (проработка у арматуры и в углах, употребление нормальных трамбовок и пр.).
7. Вела учет бетонизируемых блоков, производила осмотр распалубленных блоков и составляла акты при обнаружении тех или иных дефектов.
8. Проверяла в целях экономических, а равно и технических, соответствие: идущих в работу марок бетона предназначению частей сооружения.

Хорошее качество бетона свирских сооружений во многом обязано работе бетонной инспекции, и организацию последней на месте работ большой стройки следует рассматривать в качестве важного условия, обеспечивающего добротную и правильную проработку и укладку бетона в опалубку.

О деятельности полевой зимней группы говорится в гл. IV.

§ 2. Цемент

Свирьстрой в основном работал на цементах новороссийских заводов, которые приходили преимущественно по железной дороге навалом и в незначительном количестве в бочках, получавшихся из Ленинграда, куда цемент прибывал из Новороссийска парходом. В исключительных случаях цемент получался из Ленинграда с завода им. Воровского.

При отпавках цемента, в бочках на наших заводах налажен более или менее порядок в отношении маркировки цемента. Каждая бочка, как правило, имеет на себе наклейку, содержащую все необходимые обозначения, которые дают сведения о сорте цемента и о некоторых его производственных признаках. К сожалению, такой твердый порядок не утвердился в отношении навалочной продукции, хотя существуют по этому, поводу определенные требования наших норм. Свирьстрой неуклонно требовал от заводов сопровождения цемента ярлыком, который помещался бы в вагоне и содержал бы обозначения завода, марки цемента, номера партии и время изготовления. Правда, эти требования не всегда выполнялись.

Отбор проб для приемочных испытаний на ст. Свирьстрой¹⁾ производился до подачи вагонов к цементным силосам. На ст. Свирьстрой высылался сотрудник механической лаборатории по получении сведений о пришедшем цементе. Из каждого вагона брали пробы для испытания на скорость схватывания и на равномерность изменения объема. Из трех-семи вагонов отбирали среднюю пробу для других испытаний, причем старались, чтобы пробы относились к одной и той же заводской партии. Последнее требование, естественно, не могло быть выполнено, если не было сопроводительных ярлыков в вагонах и если запаздывали акты об отгрузке цемента с соответственными данными.

Когда результаты испытания на скорость схватывания устанавливали наличие скоросхватывающегося цемента в вагонах, то соответствующие вагоны переправлялись для разгрузки на склады материального отдела, где на всякий случай под цементы держались один-два склада. На окладе цемент складывался в отдельную кучу в виде призмы и за ним велось наблюдение до окончания его вылеживания. Обычно всегда удавалось при приемочных испытаниях поймать скоросхватывающийся цемент и не допустить его к поступлению в цементные силосы, но иногда цемент скоросхватывающийся идет гнездами и может проскочить через проверочные испытания. Такой случай был с цементом с завода им. Воровского. Этот случай дал возможность произвести некоторые небезынтересные для строителя наблюдения в производственных условиях, на которых и следует остановиться в связи с немногочисленностью литературных сообщений в данной области. Первые вагоны цементной поставки благополучно прошли пробу на скорость схватывания, и цемент был направлен на бетонный завод. На заводе было обращено внимание на значительно увеличившуюся потребность бетона в воде и на трудную перемешиваемость бетона: его промешивали вместо $2\frac{1}{2}$ мин. до 5 мин.; проверка инертных материалов установила полное благополучие с «той стороны». Проверка свойств цемента, брав-

¹⁾ Ст. Свирьстрой—конечный пункт строительной ветки длиной 8 км примыкающей к Кировской ж. д. у раз. Янега. отстояла от района основных работ, примерно на 2 км.

шегоса из цементных весов бетонного завода, несколько раз подряд, установила наличие порций скоросхватывающегося цемента. Отсюда стало ясно, что цемент в большой мере схватывался в бетоньерке и поэтому требовал увеличения воды и дополнительного перемешивания. Соответствующую поставку цемента взяли под более строгий контроль. Цемент, приняв в силосы, перемешивали посредством перекачки из бункера в бункер и разрешали к выпуску па бетонный завод, убедившись, посредством многократных проб в его доброкачественности. На работах в это время было обращено внимание на необычные свойства бетонной массы (бетон содержал много воды, свободно отделяющейся от массы) и на затруднительность проработки бетонной массы. В отдельных частях массивов получались значительные гнезда (каверны). Затруднения в укладке и неплотность бетона вполне понятны. Часть цементных частичек более или менее схватилось до укладкам бетона к делу, и бетонная масса была близка к тощим бетонам, в которые ввели большую добавку воды, чтобы получить подобие пластичных бетонов. Бетон клался в малоответственные части, по, тем не менее, был взят иод специального наблюдения, которое показало сильно замедленные темпы твердения бетонной массы, что было вполне понятно, так как бетон уложен был с весьма большим водоцементом.¹⁾

Рассмотрение обстоятельств попадания на работы скоросхватывающегося цемента указало на желательность более частых, но сравнению с требованиями норм, испытаний цемента на скорость схватывания. Этот вывод находил подтверждение в некоторых других наблюдениях, и на Свирьстрое ввели в постоянную практику производство испытаний на скорость схватывания по каждому прибывающему на стройку вагону с цементом.

В том случае, если испытания на скорость схватывания давали вполне уверенные результаты, цемент направлялся в бункер силосов. принимался силосами. но на работы не выдавался до получения результатов испытания на равномерность изменения объема, на сжатие и на растяжение. По получении благоприятных результатов испытания всех цементных проб, отобранных от цементов, лежащих в данном бункере, снимался запрет с бункера и цемент из него мог направляться на бетонный завод.

Цемент, попав в силосы, претерпевает частичное обезличивание. На основании записей в книгах цементных силосов можно было сказать, в каком бункере лежит цемент из таких-то вагонов, но отделить этот цемент от остальной массы цемента но представлялось возможности. Даже больше того, при выпуске цемента из бункера весь цемент в нем перемешивается. При засыпке цемента в бункер он ложится слоями по конусу вершиной вверх. При выборе цемента, находящийся в середине, течет быстрее и, таким образом, в бункере образуется коническая воронка, и все слои цемента взаимно перемешиваются. Перед нами, безусловно, в связи с представленными обстоятельствами должен возникнуть ряд вопросов. Эти вопросы несомненно возникнут и на других стройках, которые будут применять силосное хранение и. по-видимому, в нормах следует более подробно остановиться на обстоятельствах новых способов складирования.

¹⁾ Автор в дальнейшем изложении находит удобным пользоваться термином „водоцемент" вместо привычного „водоцементного отношения".

При индивидуальном хранении цемента, будь он в таре или навалом, пуск цементной партии на бетонный завод определяется удовлетворительными результатами испытаний данной партии. В бункере силосов лежит 900 т или, другими словами, 6—7 партий цемента. Все эти партии могут быть пущены в работу лишь ото получения хороших результатов партии, положенной последней. Это — плохая сторона силосного хранения, так как она ведет к временному омертвлению части цемента. Отрицательный фактор силосного хранения может быть ослаблен, если построены силосы с большим количеством бункеров при меньшей емкости каждого отдельного бункера. Роль того же фактора должна снизиться в значительной мере, если стройке удастся наладить вполне ответственную приемку цемента на цементном заводе и заблаговременное оповещение моста работ о результатах приемочных испытаний. Положим теперь, что среда нескольких проб, относящихся к одному бункеру, одна или несколько через 28 дней не удовлетворили требованиям норм к сопротивлению. Как-будто бы в таком случае следовало перепустить цемент в другой бункер и, перемешав таким образом, отобрать от него положенное число проб и снова, 28 дней ожидать результатов испытания. Автор считает излишним в данном случае ждать подтверждения необходимых свойств цемента цифрами вторичных испытаний. Если среднее арифметическое (или средневзвешенное при большей разнице в весовых количествах отдельных партий) окажется выше норм, то не должно быть никаких препятствий к направлению в дело цемента перемешанного одним или двумя перепусками из бункера в бункер. Если даже средняя по бункеру цифра и окажется ниже норм, то и этот случай не должен вызвать особых затруднений при наличии в силосах цемента безусловно высоких качеств, так как последний в любой пропорции всегда можно добавить к цементу данного бункера. В возможности вести перемешивание и вообще в наличии некоторого нивелирующего действия силосных операций на свойства цемента следует усматривать достоинство силосного хранения. Перемешиванием, как мы видели, не трудно исправить некондиционный цемент и превратить его в полноценный продукт.

Положим, теперь, что в нашем бункере требования норм по одной или нескольким пробам не удовлетворены в отношении равномерности изменения объема, что может иметь место всегда, так как опыт больших гидростроек не дает никаких указаний к тому, чтобы строитель считал себя полностью гарантированным от доставки ему дефектной партии цемента. Затронутый случай с качественной стороны наиболее серьезный и определенные указания норм в отношении этого случая прежде всего необходимы. Здесь существуют два мнения.

Первое мнение исходит из абсолютной недопустимости какого-либо применения в дело цемента, показавшего при приемочных испытаниях признаки неравномерности изменения объема. Следуя этому мнению и в соответствии с имеющимися неблагоприятными сведениями о возможностях вылеживания цемента в силосах, необходимо весь цемент из бункера с одной или несколькими отрицательными пробами или а) выгрузить из силосов, перевезти в оклады-сарай, подвергнуть выдерживанию в этих сараях, после чего вернуть в силосы или б) сдать обратно заводу-продавцу. Производственные затруднения, возникающие при выполнении и того и другого мероприятия, несомненны.

Второе мнение основывается на некоторой условности установленных правил проверки цементных партий на равномерность изменения

объема и исходит из представления о сравнительно малых размерах обычных цементных проб и из представления об определенной степени неравномерности свойств цементной поставки. Сторонники второго мнения, вне зависимости от наличия единичных отрицательных результатов, приемочных испытаний на равномерность изменения объема, склонны считать цемент хорошим, если цемент определенными способами перемешан и если повторная проба покажет хорошие результаты. Второй вариант не несет никаких особых производственных затруднений, но при этом варианте нельзя упускать из виду, что в данном случае идет дело о частичном направлении в работу строительного материала, в дефектности которого нам не приходится сомневаться. Поэтому требуется большая осторожность, чтобы в той или иной мере узаконить применение варианта на практике. Укажем, в частности, на практическую невозможность никакими способами перемешивания уничтожить полностью неравномерность свойств цементной массы. Поэтому, невидимому, упомянутая выше повторная проба на равномерность изменения объема должна отличаться по методике от обычного испытания на равномерность изменения объема, так как она должна не только подтверждать хорошие свойства цемента в среднем, но и должна осуществлять определенный запас на производственные случайности и предохранять строителя от случайных порций дефектного цемента.

При сравнительной оценке обоих приведенных нами мнений необходимо взвесить достоинства и недостатки того и другого. Правильная практическая линия действия, по-видимому, должна лежать где-то посредине и избегать отрицательных сторон того и другого мнения. Представим, что в бункер засыпаны 99 вагонов с хорошим цементом и 1 вагон с дефектным и что строитель хорошо перемешал весь этот цемент перегонкой цемента из бункера в бункер. В таком случае вряд ли будет рациональным требовать от строителя браковки цемента. Теперь представим, что в бункере находится цемент по преимуществу дефектный. В этом случае вред ли можно считать нормальным, если строитель приступит к систематическому направлению цемента в работу, хотя бы и при усиленном использовании перемешивающего эффекта силосов.

Заканчивая рассмотрение особенностей хранения цемента в силосах, отметим, что силосное хранение цемента на стройках должно получать все большее и большее распространение, и нормы никак не могут пройти мимо существенного, качественного изменения способов складирования и условий направления цемента в дело. Также, по-видимому, должны измениться некоторые обычные пункты договоров. Например, договоры по трафарету предусматривают обязательство обратного возврата недоброкачественного цемента и обязательство стройки в течение определенного срока хранить цемент и в случае пожелания агента цементного завода предъявить недоброкачественный цемент для отбора пробы. Эти пункты, автоматически переносимые в договоры из прошлого, в данном случае совершенно не выполнимы.

Сообщим некоторые сведения об имевшемся случае массового завоза на строительство дефектного цемента. Новороссийские заводы (одни из лучших наших заводов) и их продукция вполне заслуженно пользуется прекрасной репутацией не только у нас, но и за границей. Тем не менее, в конце 1931 и начале 1932 гг. заводы забросили строительству свыше 5000 т цемента, с явно выраженными признаками нерав-

номерности изменения объема. Шахтные печи новороссийских заводов работают на мергелях с различным содержанием СаО. Мергели с большим содержанием СаО обычно и дают цемент с неравномерностью изменения объема. Продажный цемент представляет обычно смесь продукции шахтных печей для мергелей с большим содержанием СаО, шахтных печей для мергеля с меньшим содержанием СаО и вращающихся печей, поэтому возможность неравномерности изменения объема в нем уменьшена. Обычно клинкер шахтных печей (не автоматических) новороссийских заводов находится в длительном хранении в клинкерных сараях, и цементный порошок дополнительно подвергается длительному матазинированию в заводских силосах. Таким образом качественная сторона продукции требует со стороны производителей определенного внимания. Вагоны из Новороссийска шли около трех недель, не-свободная известь, подвергавшаяся действию высоких температур, гасится очень медленно и за этот срок, в данном случае в зимнее время, цемент исправиться не мог. Механическая лаборатория Свирьстроля произвела свыше пятисот испытаний дефектного цемента и все они дали неудовлетворительные результаты. На образцах, подвергнутых ускоренному испытанию на кипячение, получались сильно развитые и четко очерченные сетки. Ряд образцов дал еще худшие результаты и лепешки попросту распозлись в кипящей воде. Опыта на хранение образцов в воде до 28 дней подтвердили результаты ускоренных испытаний. Опыты на временное сопротивление показали низкие цифры сопротивлений и для ряда восьмерок 1 : 3 через 4 дня нельзя было произвести опыта на приборе Михаэлиса. так как образцы ломались при попытке завести их в прибор.

Массовое поступление невыдержанного цемента поставило строительство в весьма затруднительное положение, так как цементные силосы оказались забитыми -почти до отказа, и в то же время стройка осталась без цемента в разгар строительных работ. Строительство применило ряд мер, направленных к скорейшему использованию цемента. Меры эти можно разделить на три рода: добавка хлористого кальция, добавка цемента уверенных свойств и вылеживание цемента.

Добавку хлористого кальция испробовали в лаборатории и опыты дали определенные результаты. Дефектный цемент без примеси: начало схватывания 2 часа 15 минут, конец схватывания 4 часа 15 минут, вода для теста нормальной пластичности 27%, равномерности изменения объема нет. Малые добавки хлористого кальция не устранили явлений неравномерности изменения объема. Только при 2% добавки СаСl₂ лепешки при кипячении дали положительный эффект. В то же время оказалось: начало схватывания 17 минут, конец схватывания 50 минут, вода 25,75%. Действие хлористого кальция выражалось, по-видимому, в ускорении процессов схватывания и твердения. Увеличение в объеме непогасившейся извести не в состоянии было разорвать достаточно окрепший цементный камень в лепешке. Опыт установил в данном случае непригодность добавки хлористого кальция для устранения явлений неравномерности изменения объема. Эта добавка сопровождалась бы недопустимым ускорением процессов твердения. Кроме юго. действие хлористого кальция (в особенности, добавляемого в больших количествах) на основные свойства бетона полностью еще не изучены.

Приведем результаты опыта на смешение невыдержанного цемента, с цементом уверенных свойств (табл. 7).

Опыт на смещение невыдержанного цемента с цементом уверенных свойств (испытания ускоренные)

№ п/п	Цемент невыдержанный %	Цемент уверенных свойств %	Результат испытания
1	0	100	Испытание на равномерность изменения объема выдержал (кипячение)
2	10	90	Испытание выдержал
3	20	80	" "
4	30	70	" "
5	40	60	С поверхности слетают маленькие пленочки, испытание выдержал
6	50	50	Слетают пленочки, звук поглуше, но хороший, испытание выдержал
7	60	40	Звук еще удовлетворительный, отлетают пленочки, снизу в центре намек на сетку, испытание выдержал
8	70	30	Сетка снизу, на периферии слабые трещинки, испытание не выдержал
9	80	20	Сетка снизу, сверху сеточная кайма по периферии, много пленочек, испытания не выдержал. При нагреве трещины, ясно видимые глазом; испытания не выдержал
10	90	10	Отчетливая сетка снизу, испытания не выдержал
11	100	0	Сетка снизу и сверху, испытания не выдержал (образец показан на рис. 20). При нагреве сильные трещины, испытания не выдержал

В седьмом случае, крайнем случае, когда цемент выдерживает испытание на равномерность изменения объема, отношение частичек цемента уверенных свойств к цементу невыдержанному равно 0,67. Во втором случае отношение равно 9. Таким образом при направлении цемента в работу по схеме второй имеется запас на производственные случайности $9 : 0,67 = 13,5$. Опыт со смесью, составленной по схеме второй, был повторен в производственной обстановке. Перемешивание производилось на цементных силосах при соблюдении особой инструкции, детальным образом предусматривавшей Обязательства перемешивания. На цементных силосах было поставлено специальное лицо, которое в течение 4,5 минут перепускало в определенный бункер цемент уверенных свойств и затем в течение 0,5 минут — цемент невыдержанный. Перемешивающее лицо имело при себе секундомер и вело в специальном журнале записи по производству перемешивания. Для обеспечения определенного порядка перемешивания на силосах была устроена специальная сигнализация из электрических ламп и звонков. По заполнении бункера смесью цемент перекачивался два раза, из бункера в бункер, чем достигалось хорошее перемешивание смеси. При второй перекачке от цемента отбирались систематические пробы. Таким образом было получено около 800 т перемешанного цемента и отобрано около 120 проб. Все пробы при испытаниях показали хорошие резуль-

таты. Опыт подтвердил хорошие перемешивающие возможности силосов. Тем не менее строительство по ряду соображений не сочло возможным пойти на сколько-нибудь значительное направление цемента для гидротехнических частей.

При обращении к операциям та вылеживанию в первую очередь заинтересовались мерами по ускорению процесса вылеживания. С этой целью испробовали аэрацию цемента посредством перегонки цемента из бункера в бункер. Многократная перегонка не дала практически ощутимых результатов.

Само по себе зимнее хранение цемента и в силосах и в открытых призмах на складе в материальном отделе оказывалось бесполезным, несмотря на значительный срок такого хранения. Нехватало теплового фактора. Лаборатория произвела опыт на вылеживание. Цемент содержался слоем толщиной 20 см в помещении механической лаборатории при температуре 15—20°. В одном случае цемент был покрыт ящиком, под который был поставлен сосуд с водой для увлажнения воздуха под ящиком, в другом случае цемент рассыпан был по полу без дополнительной заботы об увлажнении. В первом случае цемент приобрел нормальные свойства через 2 недели, во втором — через 3 недели. Таким образом цемент для своего выздоровления нуждается в весьма благоприятных и длительных условиях, которых не могло быть зимой ни в силосах, ни в складах материального отдела. Надо представить себе те трудности, с которыми пришлось бы встретиться строителю, если бы он задался целью в зимнее время оздоровить цемент с непостоянством изменения объема.

Только летом могли подметить пользу длительного хранения. Цемент отвозился из силосов ж.-д. платформами на склады материального отдела, Цементные силосы не были приспособлены к погрузочным операциям, поэтому со стороны пути в одном бункере было в боковой его стенке сделано отверстие, на которое надели лоток с затвором для выдачи цемента на платформы. На складе цемент складывался отдельными призмами толщиной 50 см. Призмы маркировались, из разных мест и на разной глубине в определенном порядке брались периодически пробы в механическую лабораторию, велся специальный журнал наблюдения за вылеживающимся цементом, двери складов в двух противоположных стенах были раскрыты настежь, по стенам склада развешивались смоченные рогожи. В результате в периоды хорошей теплой погоды (июль, август) цемент отходил и давал безупречные результаты при испытании на равномерность изменения объема через

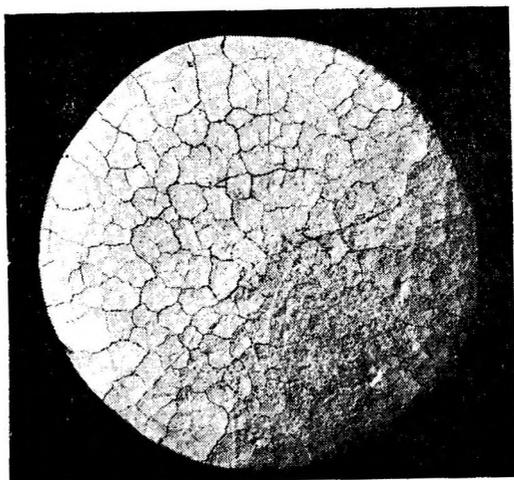


Рис. 20. Цементная лепешка, не выдержавшая испытания на равномерность изменения объема.

Трассовые цементы изготавливаются, как известно, новороссийскими заводами на карадатских трассах. В табл. 9 приведены данные по химическому анализу трассового цемента и для сравнения то же но цементу «00».

Цена трассовых цементов была не ниже, а выше цемента марки «00». Причина того, видимо, лежит в сравнительной дальности возки трасса. По имеющимся сведениям трасс примешивался в количестве 30—40%. Судя по сравнительно высоким цифрам сопротивления, трассовый цемент готовился исключительно на клинкере вращающихся печей. Как известно, советские ученые внесли весьма, значительный вклад в науку своими работами в области изучения свойств пуццолановых порландцементов и всем инженерам-гидротехникам в достаточной мере известно, какое значение следует придавать гидравлическим добавкам в деле связывания свободной извести в бетоне на порландцементе и усиления химической стойкости гидротехнических бетонных сооружений. Тем не менее по ряду причин гидравлические добавки и пуццолановые порландцементы не употреблялись ни на Волховстресе, ни на Днепрострое. На Свирьстрое применено сравнительно большое количество пуццоланового порландцемента, а именно получено и израсходовано новороссийского трассового порландцемента при изготовлении бетона около 16 000 т. Но трассовый цемент в порядке правила применен был без учета специальных его свойств. Часть трассового цемента была использована для опытных кладок бетона и наблюдений в производственной обстановке. Вообще же, в годы усиленного строительства в стране и напряженного положения с получением цемента, строительство не отказывалось в счет поставок нормального порландцемента принимать частично цемент трассовый. Получив партию трассового цемента, принимали немедленные меры к равномерному перемешиванию его с нормальным порландцементом посредством смешения и перегонки по бункерам цементных силосов. Такая мера применялась потому, что трассовый цемент, будучи применен для изготовления бетона без коренного изменения составной пропорции его, давал меньшие цифры сопротивлений и, в особенности, в первые дни твердения, когда прочность бетона на трассовом цементе получалась в два, в два, с половиной раза меньше прочности обыкновенного бетона. Первые дни твердения имеют чрезвычайно важное значение с точки зрения производственной, так как в первые дни по достижении бетоном определенной степени прочности происходит наращивание блока по высоте или распалубка и бетонировка прилегающих блоков. Особо важное значение скорость твердения бетона имеет при работе в зимнее, время без тепляков. Мы имеем два примера, когда случайное попадание трассового цемента на бетонный завод привело к значительным затруднениям при уходе за зимними блоками и в одном блоке пришлось сколоть несколько кубометров промерзшего бетона. Конечно мы могли бы установить для трассового цемента специальные составы бетонов и эти составы были бы в состоянии обеспечить хорошие прочностные в первые дни твердения и все необходимые удобства для распалубок, а также для зимних бетонировок, но на это нельзя было пойти. Увеличение числа марок бетона сверх некоторого максимального числа совершенно недопустимо в условиях механизированной стройки. Полная же замена нормального порландцемента, цементом трассовым была невыполнима: потому, что заводы дне могли обеспечить стройку непрерывными и большими поставками трассового цемента. На основании вышеизложенного должно

стать вполне понятным, почему строительство, израсходовав сравнительно большое количество трассового новороссийского цемента, не использовало его специальных свойств, а, перемешав его соответствующим образом с нормальным портландцементом, направляло смесь по тому же назначению, что и нормальный портландцемент марки «00».

Новороссийский портландцемент «00», а также получавшийся в начале стройки цемент «0», по своим свойствам близкий к марке «00», был основным цементом строительства и применялся для всех типов бетонов для массивных частей, а также для бетонных составов, шедших на железобетонные части.

Высокосортный новороссийский цемент, т. е. цемент «000», не употреблялся совершенно для массивных частей, а в железобетонных частях употреблялся в различных специальных случаях, например, когда по производственным причинам была нужда в ускорении сроков распалубки частей сооружения или в случаях, когда требовались повышенные механические свойства бетона, которые не могли быть реализованы при цементе марки «00», например при бетонировке стенок, спиральной камеры.

При крайней нужде в цементе последний получался с ленинградского завода им. Воровского. Так как этого цемента было получено сравнительно немного, на его свойствах не останавливаемся.

Дозировка цемента на бетонном заводе происходила в полуавтоматических весах (рис. 16). Бегунок на весовом рычаге устанавливался дозировщиком и мог быть свободно передвинут при каждом отвешивании. Отсечка потока цемента при наполнении весов и прекращение выпуска отвешенной дозы осуществлялось дозировщиком. Отсюда вытекают и достоинства и недостатки весов. Весы требуют полного внимания при работе, но в то же время они не специализируют данную бетоньерочную секцию по составам, так как для каждого нового замеса дозировщик может осуществить любую порцию цемента.

На Днепрострое применялись автоматические весы опрокидного типа с заранее произведенной установкой гирь. По приведении весов в действие последние автоматически забирали цемент, автоматически сбрасывали установленную порцию цемента в подвесовой бункер и останавливались. Таким образом доза цемента не могла меняться дозировщиком и нельзя было на данной бетоньерочной секции перейти к выдаче другой бетонной пропорции без специальной перестановки весов.

Подвесовой бункер под днепростроевскими весами и передаточные лотки от бункера к бетоньерке являлись иногда причиной неравномерности веса цементных доз. В лотках бывали заторы цемента, и вес порции цемента, попадавшей в бетоньерку, менялся. С этими заторами боролись обколачиванием лотков и устройствам контрольных окошечек в соответствующих местах лотков. Вообще в тех случаях, когда цемент подается силой тяжести, лучше избегать колен лотков и давать лотки по возможности вертикальные или наклоненные под малым углом к вертикали и, кроме того, надо с большим вниманием относиться к различным обстоятельствам прохождения цемента. Например, на Днепрострое затвор подвесного бункера при закрывании подтягивал цементную пыль по продольным пазам к поперечному пазу и между этими пазами и затвором образовывался зазор в 1, 2 и даже 5 мм. Через зазор, хотя затвор и был закрыт, часть отвешенной порции цемента проскальзывала в бетоньерку раньше времени, вследствие чего цемент попадал в нее больше и меньше

назначенной порции. После удаления поперечного паза нежелательное явление неравномерности порций цемента прекратилось. Невнимание к такого рода как бы второстепенным деталям может свести на нет высокую точность дозирующего устройства. На свирьстровском бетонном заводе закрытых путей прохождения цемента после весов не было, почему и не приходилось опасаться здесь недоразумений.

§ 3. Инертные материалы

В качестве инертных употреблялась исключительно продукция промывных устройств. Гранулометрический состав погринского мытого песка представлен в табл. 10 и на рис. 21.

Таблица 10

Гранулометрический состав погринского мытого песка

	Отверстие сит в мм						Проход 0,15	Модуль крупности	Процент загрязне- ния
	5	2,5	1,2	0,60	0,30	0,15			
Полные остатки . . .	8,58	28,46	51,23	79,34	94,77	98,58	—	3,61	1,84
Частные остатки . . .	8,58	19,88	22,77	28,11	15,43	3,81	1,16	—	—

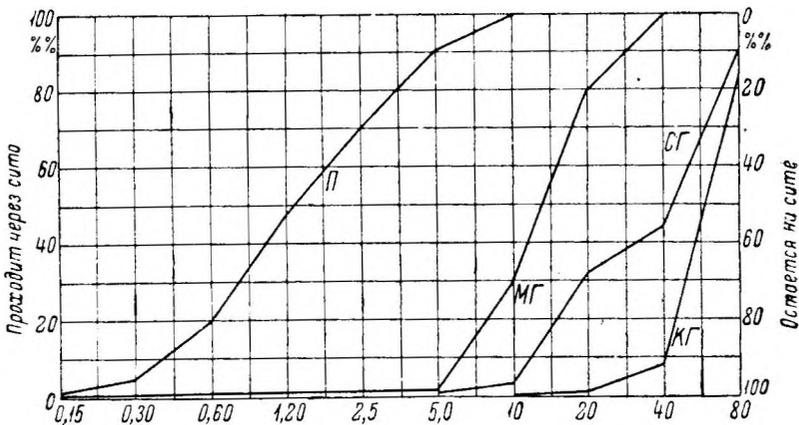


Рис. 21. Гранулометрический состав инертных.

Таким образом песок, в основной своей массе состоит из частиц от 0,3 до 5 мм. Форма частиц — плавно угловатая, удельный вес около 2,67. Чтобы судить о характере отмываемых частиц, взяли пробу из отходов промывных устройств, отложившихся в логе после выхода грязной воды из лотка промывных. Пробу пропустили через сито с отверстиями 10 мм, рассеяли на нормальном наборе сит и получили результаты, указанные в табл. 11.

Отходная вода из промывных выносит из состава песка частицы различных крупностей, но больше всего частиц самых мелких от 0,3 мм до 0. При соображениях, насколько можно было бы обогатить мытый пе-

Таблица 11

Гранулометрический состав отхода промывных устройств

	Отверстие сит в мм						Проход 0,15	Модуль крупности
	5	2,5	1,2	0,00	0,30	0,15		
Частные остатки.....	3,1	8,55	10,5	14,95	10,95	22,10	23,85	2,04

сок сохранением части вынимаемых частиц, следует принять во внимание размер отхода, а именно 8—10% от общего количества промытого материала.

Был испробован ряд местных песков в надежде, что они могут обогатить основной погринский мытый песок.

Местные пески оказались песками сравнительно мелкими. Приведем состав одного из таких песков, а именно чешка, залегающего в районе промывных устройств (табл. 12).

Таблица 12

Гранулометрический состав местного песка

	Отверстие сит в мм						Проход 0,15	Модуль крупности
	5	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15		
Частные остатки.....	—	—	0,4	10,0	82,0	6,3	0,9	2,02

Песок по размерам частиц оказался одномерным, несет небольшое количество мельчайших частиц и на 92% состоит из частиц, остающихся на ситах 0,6 и 0,3 мм. т. е. из тех частиц, которые в достаточном количестве имеются в основном мытом песке (43%). Следовательно априорно можно судить, что он сравнительно в слабой степени может обогатить основной песок мелкой фракцией. Соответствующие лабораторные опыты подтвердили, что этот песок действительно не способен в примеси к основному песку дать какие-либо выгоды в отношении прочности и плотности бетона и экономии цемента. Другие местные пески по своему гранулометрическому составу были близки к песку, залегающему в районе промывных устройств, и, кроме того, обладали каким-либо существенным недостатком с производственной точки зрения. Все они или залежали малоценным массивом, или были заражены гумусовыми примесями и требовали промывки. Таким образом строительству не удалось отыскать местных песков, которые могли бы обогатить основной песок. Следует отметить большие затруднения производственного характера, которые пришлось бы перебороть, если бы даже и найден был хороший местный песок, при перемешивании основного песка с другим его сортом. Следует заметить, что в осуществленную систему механизации иногда не совсем легко вводить непредусмотренную предварительным проектом операцию. Определенный тип механизации в большей мере предопределяет определенные способы работы.

Возвратимся к основному погринскому мытому песку. При контроле работы бетонного завода механическая лаборатория вела непрерывные наблюдения за инертными. В частности, каждый день отбиралась порция песка, по которой устанавливалась его загрязненность и влажность. Кроме того, периодически забиралась целиком из мерных ящиков бетонного завода порция инертного, для которой определялась степень загрязнения, влажность, полный вес и средний гранулометрический состав. Колориметрический анализ для мытого погринского песка неизменно давал жидкость прозрачную или с бледножелтоватым оттенком и, во всяком случае, светлее эталона. Содержание частиц меньше 0,05 мм, определенное по способу отмучивания, было около 2%. Это содержание не оказывало какого-либо влияния на прочность, что было подтверждено испытанием долгосрочных кубиков на песке с упомянутыми частицами и без них.

В соответствии с требованиями норм определялся переходный коэффициент по весу, т. е, замечался вес леска, засыпанного рыхло в ящик в естественном влажном состоянии, и вес песка, засыпанного рыхло в ящик в сухом состоянии, и отыскивалось отношение этих весов. Отношение это получалось 1,20 для песка с влажностью 5—7%. Объемный вес сухого рыхло насыпанного песка оказался 1,59. Объемный вес песка с влажностью 5—7% в мерном ящике оказался равным 1,44 и фактический переходный коэффициент — $1,59/1,44 = 1,10$, вместо 1,26. Песок в мерном ящике ложится плотнее, чем в лаборатории, и пользование значением предписанного типа коэффициента приводит к ошибкам дозировки, порядка 15%. Практика Свирьстроа показала, что проще всего даже при наличии объемных дозирочных устройств пользоваться и в лаборатории и в поле весовыми пропорциями.

Бетонному заводу с 1931 г. предъявлялось требование осуществления не определенной объемной порции песка, а определенной весовой порции сухого песка. Соответствующим образом поступали и в отношении гальки. При выполнении этого требования необходимо в целях контроля пользоваться весами и перевешивать всю мерную дозу. Но эта необходимость не отпадает и при (пользовании переходными коэффициентами, переход же к чисто весовой дозировке даст полную ясность в контроле за бетонным заводом и в переходе от лабораторной пропорции бетона к полевой дозировке.

Некоторые трудности Свирьстроу пришлось пережить в отношении дозировки воды на замес в связи с большими колебаниями во влажности песка, поступающего с промывных устройств. Например, по наблюдениям 1931 г. по вступлении в работу промывных устройств влажность песка в мерных ящиках менялась от 4 до 12,8% и в среднем держалась на 8%. причем изменения во влажности непрерывно следовали друг за другом к течение суток. Изменения во влажности в большой мере зависели от времени, протекшего от конца загрузки бункеров бетонного завода. В частности, в начале загрузки песок из бункера через посредство мерного ящика отдавал воду в несколько струй с расходом в 10—20 л/сек. При этих условиях прибегнули к особым мероприятиям, чтобы сохранить необходимую заботу о водоцементе. Был заведен институт дежурных сплывщиков, которые непрерывно в течение каждой смены брали сплывы и о малейшем уклонении от установленной степени пластичности сообщали рычажнику, который приводил во вращение бетоньерку, следил за временем вращения и доливал воду. Бетонная масса, перекатывающаяся по лопастям вращающейся бетоньерки, существенно меняет свой вид

в зависимости от степени пластичности, при некотором навыке можно по наблюдению за бетоньеркой выносить суждение о степени пластичности, по точности не уступающее показанию конуса, Рычажники Свирь-строая, проверяемые непрерывно сплывщиками, достаточно точно выдерживали сплыв, т. е., в конце концов осуществляли определенную добавку воды. Выпускающие на днепростроевском бетонном заводе судили о степени пластичности бетонной массы не по виду ее в бетоньерке, а по внешнему: виду первых порций бетонной массы, выходящих из бетоньерки, и на основании этих, наблюдений задавали окончательную добавку воды. Мы полагали бы желательными изобретения и предложения по способам замера степени пластичности бетонной массы в бетоньерке. Упоминание о таких способах встречается в литературе о постройке плотины Баулдер,

Впоследствии были приняты меры, способствующие ослаблению колебаний во влажности песка. Днища вагончиков были снабжены отверстиями, и вода из вагончиков частично терялась при подаче вагончика по канатной дорожке от промывных устройств до бетонного завода. Старались давать песку в погрузочных бункерах промывных устройств некоторое время на выстаивание, уменьшали подачу воды при промывке. В результате принятых мер, а также частично в связи с уменьшением, темпов бетонирования и промывки, удалось значительно улучшить положение с колебаниями влажности в песке. Прекратились потоки струй, воды из мерного ящика, и влажность песка в небольших пределах колебалась около значения 5,5%. Забота в дальнейшем в отношении воды заключалась в сохранении сплывщиков на бетонном заводе и в установлении предельной добавки воды, т. е. в установлении предельного положения рычага водяного бачка. Предельная порция воды устанавливалась соразмерно наблюдавшимся минимальным влажностям песка и гальки. Институт сплывщиков, по-видимому, является важнейшей мерой в отношении сохранения хороших однородных свойств бетона. Предельная добавка воды понималась вполне определенным образом. Фактический переход к выдаче бетона с максимально предельными добавками воды сигнализировал механической лаборатории о необходимости пересмотра, всех обстоятельств технологической стороны бетона. Увеличение порции воды, в особенности увеличение систематического характера, при строгом присмотре за сплывами отвечает изменению свойств бетонных составляющих или изменению составной пропорции и должно вызвать меры к восстановлению нарушенного порядка или к пересмотру составной пропорции. В связи с вышеизложенным следует пересмотреть одно постоянное требование наших норм, изложенное в последних нормах 1934 г. в § 219.

Нормы определяют порядок подсчета водоцемента, величина которого отвечает заданному временному сопротивлению бетона. По мнению

корм «полученное отношение $\frac{W}{C}$ является предельным наибольшим и

должно выдерживаться на работах — это основная и важнейшая операция при контроле бетона» (фраза в кавычках в нормах выделена курсивом).

По-видимому, нормы придерживаются мнения, что для бетона ни в коем случае нельзя допускать нарушения указанного отношения $\frac{W}{C}$ и

что это отношение возможно выдержать на работах с полной категоричностью. Это мнение сделалось ходячим и среди широких масс бетонщи-

ков. Недаром нормы 1931 г. упоминают про автоматическое отмеривание, цель которого должна быть не какая другая, как воспрепятствовать увеличению порции воды для замеса. Известны рационализаторские предложения по таким автоматическим балкам. Однако взгляды, отражение которых мы находим в нормах, не находят полную соответствия в практике и упускают важные обстоятельства. Нормы не считаются с особым значением пластичности бетона и никак не принимают во внимание производственных неравномерностей. Пластичность бетона, ближайшим образом характеризующая удобообрабатываемость и возможность плотной укладки бетона, является чрезвычайно важным фактором бетона, который и в производственном отношении имеет важнейшее значение и играет не малую роль при обеспечении в практической обстановке прочности бетона. Пластичность, как всякое другое свойство бетона, в основном определяется свойствами бетонных составляющих и составной пропорцией. Так как по ходу бетонировки меняются свойства бетонных составляющих и фактические составные пропорции вследствие наличия производственных неравномерностей также меняются от замеса к замесу, то мы должны получить сильные нежелательные колебания в степени пластичности. Эта колебания в степени пластичности бетона, при принятии нами всех возможных мер к их уменьшению посредством ослабления, производственных неравномерностей (выбор бетонных составляющих с устойчивыми свойствами, повышение точности дозировки), всегда в известной мере останутся неустранимыми. Необходимо будет ослаблять эти неравномерности сознательным регулированием одного из факторов с таким расчетом, чтобы этот фактор противодействовал возникшему изменению степени пластичности. Таким фактором при существующих способах изготовления бетона является единственно вода. Поясним примером. Положим, что для данной замески по сравнению с замеской предыдущей имеет место увеличение песчаной порции или в данную замеску попала порция цемента с ускоренными по сравнению с предыдущей порцией сроками схватывания. В том и в другом случае при сохранении водяной добавки, одинаковой с водяной добавкой предыдущего замеса, мы должны получить понижение степени пластичности. Возвратить прежнюю степень пластичности мы можем, лишь увеличив порцию воды. Других способов нет. С увеличением порции воды увеличится значение водоцемента. Получите право не регулировать степень пластичности путем изменения водоцемента мы могли бы лишь в одном случае. Для этого необходимо цемент и воду, сохраняя между ними определенное соотношение, сохраняя для бетона определенный водоцемент, задавать к каждому замесу до тех пор, пока замес не приобретет заданной степени пластичности, но такие способы работ до сих пор не предлагались и не применяются. Вышесказанное ни в какой степени не умаляет (Значения основного закона прочности бетона, а именно зависимости прочности бетона от водоцемента. Вопрос идет о способах приложения закона к практической производственной задаче. Требования норм в отношении предельного значения водоцемента с принципиальной точки зрения правильны и понятны. Что касается порядка предъявления этих требований, то здесь необходимы дополнительные разъяснения.

За последнее время становится все более и более ясным важность вопроса о производственных неравномерностях, который в настоящее время весьма мало изучен. Дадим сведения по наблюдениям за неравномерностью дозировки инертных на Свирьстрое, полученным благодаря

систематической проверке веса порций, отмерявшихся дозировочными устройствами на бетонном заводе, Важность накопления сведений в данной области явствует хотя бы из того, что только на основе их можно решить не совсем ясный вопрос о преимуществах объемных и весовых дозровок инертных. При отборе пробы инертного из мерного ящика в случайном порядке выбирали наполненный мерный ящик с инертным, очищали соответствующий передбетоньерочный бункер и бетоньерку и выпускали содержимое мерного ящика через бетоньерку в вагончик, который и отвозили в лабораторию для исследования. Такой способ отбора пробы не являлся простой и быстрой операцией и часто мешал производству. При проектировании механизированных заводов на новых стройках необходимо предусмотреть возможность быстрого и легкого отбора отмеренной дозы инертного из дозировочного приспособления в посуду лаборатории, возможность доставки посуды лаборатории с трудом в 1—2 т в здание лаборатории или в помещение для лаборатории при бетонном заводе и, наконец, возможность возврата инертного в бункер бетонного завода. Отмеренная доза инертного должна выпускаться из дозировочного приспособления помимо бетоньерки, но с прохождением всех путей, которые инертные проходят до бетоньерки обычно при изготовлении бетона. По-видимому на Свирьстрое впервые был налажен систематический контроль веса крупных объемных доз инертного. В качестве измерителя неравномерности было взято средне-абсолютное уклонение, т. е. в данном случае величина

$$d = \frac{\sum P_0 - P_n}{n},$$

где: P_n — вес единичной дозы инертного,

P_0 — среднее значение весов доз инертного.

n — число доз (вертикальные черточки обозначают, что берется абсолютное значение выражения, стоящего между ними).

Подсчитали значение среднего уклонения для одного периода, включавшего 36 наблюдений за дозами песка и получили $d = 25$ кг при среднем весе около 1000 кг. Таким образом среднее уклонение в процентах будет равно $d = 2,5\%$. Точно так же обследовали вопрос о точности дозировки гальки и по 33 наблюдениям определили среднее уклонение $d = 50$ кг. что дало в процентах также 2,5%. При рассмотрении ряда цифр взвешиваний было обращено внимание на наличие выскакивающих значений, максимальных и минимальных, которые в особенности сказываются на точности отмеривания. Эти цифры отвечали грубым ошибкам отмеривания, которые в определенных условиях возможны всегда при работе на мерных ящиках системы Блау-Нокса (рис. 16 и 22). механизированной системы объемного обмеривания, получившей у нас некоторое распространение.

Рабочие, по неопытности или чтобы облегчить свою работу, начинают вдвигать шибер, когда еще не прекратился ток материала в мерный ящик, или же по прекращении тока задвигание шибера осуществляют многократной подачей шибера туда и назад. В первом случае получается недосылка материала, во втором — пересыпка. Меры борьбы с данным явлением: усиленный контроль за оплывами и размерами водяных добавок, периодический перевес отмеренных порций, усиленный просмотр за практикующимися способами отмеривания, подбор аккуратных и сознательных работников по дозировке с повышенной оплатой их

труда. Тщательная постановка отмеривания на объемных приборах типа Блау-Нокса характеризуется средним уклоном около 2%.

Чтобы сравнить в отношении точности отмеривания весовой и объемный способы дозирования, следовало бы полученные нами значения точностных характеристик для объемных приборов сравнить с средними уклонами для весовой аппаратуры. Автор работал с весами для инертных на Днепрострое, но к сожалению не располагает данными систематических наблюдений, который позволили бы вычислить соответствующие значения d и этот подсчет следует произвести на какой-либо последующей постройке. Автор хотел бы подчеркнуть неосновательность общераспространенного мнения о непререкаемых достоинствах весовой дозирования инертных. Оказывается, что весовая дозировка отнюдь не характеризуется средним уклоном $d = 0$, что точностные достоинства весовой дозирования в большей мере зависят от конструктивных особенностей приборов и от способов подачи инертных к весам и к бетоньерке, и что хорошая Дозировка на весах требует вдумчивого и постоянного контроля. Весы для инертных на Днеп ростров были общими и для двух сортов песка и для двух сортов щебня.

Сначала отвешивали смесь щебней, затем в весы сыпали песок пока не уравновешивался весовой рычаг с бегунком, поставленным на суммарный вес щебня и песка.

Инертный материал из бункеров выдавался через толкачи, довольно широко расставленные друг от друга, Чтобы захватить все четыре струи материала грузовая платформа весов была запроектирована в виде конического бункера с широким основанием и с уклоном боковых стенок 1 : 1.

Источники ошибок отмеривания на днепростроевских весах были таковы:

1) Происходили ошибки от неопределенности длины ленты падающего материала, считая от толкача, до верха кучи материала в весах. Дозировщик смотрел на положение весового рычага, в соответствующий момент дергал за рычаг, переводящий приводной ремень толкачей на холостой шкив, но нагрузка весов продолжала расти, пока толкачи не оставались совсем и не падала, последняя порция материала, уже выданная толкачами. Эта ошибка частично парализовалась тем, что падающая струя обладала -некоторой живой силой падения, дополнительно загружавшей весы, В большой мере ошибку можно было уменьшить прекращением непрерывной струи материала, до получения установленной дозы и к переходу под конец отвешивания к отрывистой подаче мате-

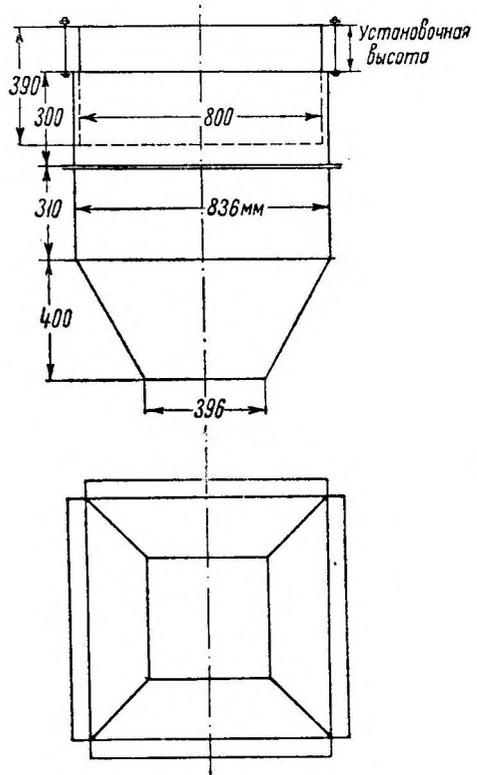


Рис. 22. Мерный ящик для песка.

риала. Эта мера имеет практические пределы, так как она связана с потерей времени.

2) Имела иногда место грубая ошибка в содержании весов. Важное значение для действия весов имеет сохранение промежутка между неподвижной базой весов и качающейся платформой. Контакт между тем и другим мог получиться или при неосторожной установке регулировочных винтов базы, или при попадании материала или постороннего предмета в промежуток. При образовавшемся контакте возможна была весьма большая пересыпка материала, которую нельзя было определить положением весового расчета, -который в подобных случаях сохранял неизменное горизонтальное положение.

3) Ошибка за счет неполного освобождения бункера причиняла не мало забот. В весовом бункере после выпуска застревала часть материала. По условиям расположения завода были такие секции, где цемент от цементных весов направлялся через бункер весов для инертных, и в этих секциях было больше возможности для застревания материала в весовом бункере. При засорявшей части материала весы начинали недоувешивать, но если отрегулировать весовой рычаг снова на нуль, то после отрыва застрявшей части весы начинали перевешивать. С ошибкой боролись при посредстве обколачивания бункера, но эта мера не всегда была решающей, так как бункер был высоким с затруднительным подступом в верхнюю часть и представлял ряд неудобств к осмотру. Эта ошибка на Свирьстрое по линии, мерного приспособления отсутствовала, так как мерные ящики были с вертикальными стенками и какая-то часть материала никоим образом не могла задерживаться в мерном ящике после открытия выпускной крышки. Часть материала могла задержаться в передбетоньерочном бункере. Передбетоньерочный бункер, открытый сверху для работающего персонала и открывавшийся непосредственно в бетонерку, обладал всеми достоинствами удобозримости и представлял все возможности для очистки. Вообще при проектировании мерных приспособлений и путей прохода материала необходимо иметь в виду возможность застревания материалов, так как скопления материала по пути способны уничтожить всю точность дозирования.

4) Нельзя упускать из виду и ошибку за счет меняющейся влажности инертных материалов. Чем больше влажность материалов, тем в конце концов его будет меньше отвешено, и наоборот. Ошибка в данном случае при весовой дозировке равна изменению числа процентов влажности. Изменение влажности инертных материалов имеет также значение и для объемной дозировки, причем изменение влажности крупной составляющей должно иметь как-будто меньшее значение. В случае песка лабораторные опыты говорят о сильном влиянии на порцию материала для некоторых пределов колебаний влажностей. В практической обстановке отмеривания больших доз, по-видимому, это влияние слабее. Во-первых, сравнительно большая высота падения песка нивелирует состояние уплотнения песка при различных влажностях, во-вторых, диапазон колебания влажности песка в нормальном практическом случае меньше лабораторного. Во всяком случае данная нами выше точностная характеристика объемной дозировки песка покрывает своей величиной и колебания в количестве песка из-за изменения влажности.

Представленные нами сведения и рассуждения являются первой попыткой сравнительной оценки определенных конкретных способов объемной и весовой дозировки. Если они и не дают исчерпывающего сравнения

этих дозировок, тем не менее они в состоянии дать некоторые указания для проектирования дозировочных устройств и обратить внимание на то, что хорошая работа и тех и других дозировочных приспособлений требует определенного внимания и заботы.

Как мы оказали раньше, галька на Свирьстрое с промывных устройств поступала в двух видах: галька крупная и галька мелкая. Такое разделение позволяло, с одной стороны, иметь специальную гальку для железобетонных частей, с другой стороны, смешением в определенной пропорции крупной и мелкой гальки получать для массивного бетона смешанную гальку с устойчивым гранулометрическим составом. Если бы не было разделения фракций и последующего их смешения в определенном порядке, то все изменения в гранулометрическом составе исходной истринской смеси имели бы сильное влияние на колебания в зерновом составе бетонной массы для массивов.

Гранулометрический состав строкой гальки представлен в табл. 13 и на рис. 21.

Таблица 13

Гранулометрический состав гальки

Сорт гальки		Остатки на сите мм										Прход 0,15	Грануло- метрический модуль	Загрязнение в % (отмучи- вание)	
		80	50	40	20	10	5	2,5	1,2	0,6	0,3				0,15
МГ	Частный остаток .	—	—	—	19,8	46,1	31,3	1,3	0,3	0,2	0,2	0,1	0,4	6,77	0,8
	Полный остаток .	—	—	—	19,8	65,9	97,2	98,5	98,8	99,0	99,2	99,3			
КГ	Частный остаток .	15,2	66,3	10,5	7,2	0,4	0,1	—	—	—	—	—	0,3	9,04	0,8
	Полный остаток .	15,2	—	92,0	92,2	99,6	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7	99,7			
СГ	Частный остаток .	9,1	39,8	6,3	12,2	18,7	12,6	0,5	0,1	0,1	0,1	—	0,3	8,13	0,8
	Полный остаток .	9,1	—	55,2	67,4	86,1	98,7	99,2	99,3	99,4	99,5	99,5			

Составная пропорция для образования смешанной гальки по ходу производства в зависимости от обстоятельств менялась. В таблице приведены данные по смеси, составленной в пропорции КГ : МГ = 3 : 2. Итак, крупная галька, главным образом (на 80%), состояла из зерен от 50 до \approx 90 мм (отверстие сита на промывных было 90 мм), мелкая галька на 75% состояла из зерен от 5 до 20 мм и около 20% имела частиц от 20 до \approx 30 мм. Вообще в гальке было мало частиц от 30 до 50 мм. К концу стройки Свирьстрой перешел на сита для крупной гальки с отверстием в 100 мм. Нами ранее упоминалось, что по ходу промывки в связи с ростом содержания в погринской смеси камней была увеличена мощность дробильной группы на промывных устройствах. С этого времени мелкая галька стала получаться несколько крупнее, а, именно в ее зерновом составе частный остаток на сите 20 мм вырос на

15% за счет остатка на сите 5 мм, почему гранулометрический модуль вырос до 7.17.

Интересен процесс, который вносят гидростройки в отношении размера камневидной добавки. До Волховстроя наибольший размер щебня для массивов был 4 см. На Волховстрое щебень употреблялся до 6 и в некоторых случаях до 10 см, на Днепрострое и Свирьстрое камневидная в порядке правила дошла до 10 см. Имеются сведения, что в Америке щебень для бетонных работ достиг максимальной величины в 15 см. По-видимому ближайшие наши гидростройки освою применение этого размера щебня, так, как увеличение предельного размера камневидной сопровождается соответственно уменьшением расхода цемента на 1 м³ бетона.

Крупная галька на бетонный завод для целой изготовления бетона попадала исключительно в смеси с мелкой, и смешанную гальку обычно называли крупной галькой. Поэтому «последствия» под наименованием, крупной гальки мы будем подразумевать гальку смешанную.

Влажность крупной гальки в мерных ящиках оказывалась в среднем 2%.

§ 4. Испытания бетона на водонепроницаемость

При подборе бетона обычно интересуются следующими основными свойствами бетона: прочностью, плотностью и пластичностью. В гидротехнических бетонах первенствующее значение приобретает плотность, бетона, свойство бетона ближайшим образом связанное с морозоупорностью и водонепроницаемостью и долговечностью бетона.

По-видимому следует считать, что первое применение теории бетона в СССР имело место на Волховстрое, где на месте работ была оборудована механическая лаборатория, своей успешной деятельностью доказавшая большую важность строительных лабораторий. И после Волховстроя на Днепре и Свири организуются богато оборудованные лаборатории. На Волховстрое впервые применена укладка пластичного бетона, в 1424 г. прибегнули к измерению степени пластичности сплывным конусом, и прочность бетона вычисляли помощью соответствующих формул и кривых сопротивления. При расчете плотности бетонов Волховстрой в основном исходил из пустотной схемы, разработанной еще до революции проф. Житкевичем, проф. Федоровичем и др. Эту пустотную схему в отличие от вновь создаваемой в настоящее время теории плотного бетона назовем классической пустотной схемой. Волховстрой довольно удачно использовал классическую пустотную схему, но опыт Волховстроя показал, что дореволюционная пустотная схема не в достаточной мере точно отражает физическую сторону бетонного явления даже при благоприятном соотношении крупностей гальки и песка. Фактические выходы волховстроевских бетонов оказались несколько выше теоретических, определенных пустотными расчетами.

После Волховстроя развитие бетонной теории в основном пошло двумя путями. Одни, взяв в основу классическую пустотную схему или немного ее переиначив и не изменяя ее основных положений, старались соединить ее с новейшими теориями прочности. Другие, разочаровавшись в классической пустотной схеме, обратились к иностранным образцам или старались создать свои способы подбора бетона.

В результате усилий ряда последователей были достигнуты определенные успехи по отдельным вопросам из области проектирования бето-

нов. К началу бетонных работ на Свирьстрое в большей мере были разъяснены основные законы прочности бетонов. В отношении пластичности бетона было накоплено достаточно практических наблюдений, произведены необходимые лабораторные исследования и в этой части не имелось значительных неясностей. Наряду с этим необходимо отметить, что вопросы плотности бетона до сих пор оказываются мало обследованными, несмотря на их безусловную важность. В этом отношении не дали существенно нового ни последователи классической пустотной схемы, ни сторонники, новых методов подбора бетонов. Необходимость разработки плотностной схемы подбора бетона неоднократно подчеркивается за последнее время в нашей печати. Отметим слабую разработку данного вопроса и за границей, поскольку можно об этом судить по литературным данным.

В условиях отсутствия надежной расчетной схемы плотного бетона вполне естественно было бы при решении вопроса о морозоупорности и водонепроницаемости бетона прежде всего обратиться к соответствующим опытам. Действительно на Свирьстрое проводились опыты на морозоупорность, когда бетонные образцы различных составов так же, как и на Днепрострое, выносились на мороз. Так же ставились опыты и на водонепроницаемость. Но соответствующие опыты оказались весьма кропотливыми, трудными и требовали значительного времени. Самое же важное выяснилось, что ни те, ни другие опыты не имеют разработанных, утвержденных и целесообразных методик. Остановившись на испытании бетона на водонепроницаемость. Здесь мы столкнулись с рядом невыясненных вопросов, разработка которых должна потребовать не мало времени. Прежде всего достоинства применяющейся аппаратуры оказались весьма сомнительными. На

Свирьстрое применялась шведская призма.

Устройство призмы вполне понятно из рассмотрения рис. 23. Восьмигранная призма, приготовленная из опытной бетонной массы, имела внутри полость. Эта полость закрывалась штуцером, трубкой с нижним фланцем. Штуцер при испытании присоединялся к трубке, подававшей напорную воду. Уплотнение достигалось шайкой из цементного теста или раствора, или из испытуемой бетонной массы. При сравнении водопорных свойств различных бетонов обращали внимание на состояние поверхности призмы во время опыта и фиксировали моменты появления на поверхности отпотеваний, росы, протеканий и струек. Опыты показали следующие недостатки шведской методики:

1) Методика в сущности не давала количественных измерителей, например расхода в литрах на единицу площади и времени. Оценка имела качественный характер. Поэтому шведские призмы не давали простора для точного сравнения свойств различных бетонов и для целого ряда важных соображений.

2) Опыт происходит всегда в условиях неполной уверенности за плотность уплотнения. Меры по улучшению уплотнения: тщательная очистка штуцера перед его установкой в призму, насечка верха, призмы перед бетонированием бетонной шапки и т. д. не давали полной гаран-

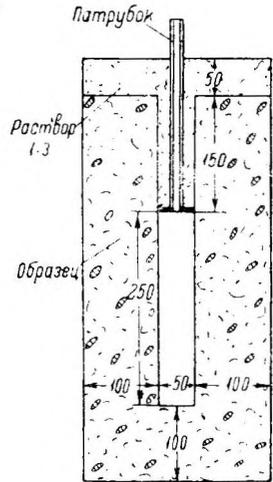


Рис. 23. Шведская призма для испытания на водонепроницаемость (разрез по высоте).

тии. Удача опыта в большей мере зависела от опытности и искусства рабочего, изготовляющего образец.

3) Набивка образца носила кропотливый и кустарный характер, нежелательный при многочисленных систематических опытах.

4) С поверхности образца возможно было испарение, почему слабые расходы воды через бетон могли не поддаваться констатации.

5) Восьмиугольная форма являлась лишним осложнением и создавала некоторую разницу в длинах путей фильтрации.

На стройке было изготовлено достаточно большое количество шведских призм для некоторых опытов и в особенности в целях контрольных наблюдений за бетонной массой с бетонного завода. Призмы подвергали действию водяного давления и производились зарисовки протекающих граней призм. Более или менее ясных выводов, хотя бы контрольного характера, получить не удалось, почему, учитывая вышеуказанные недостатки, от изготовления призм отказались.

Пробовали опыты производить на приборе Бурхартца, Образец имел форму призмочки 20 X 20 X 10 см и зажимался между двумя флянцами прибора. Уплотнение достигалось прокладкой двух резиновых колец. Вода подавалась снизу, фильтрация измерялась по количеству воды, скапливающейся на верхней поверхности образца. Уплотняющие кольца работали хорошо. Недостатком являлись малые размеры образца. Решающим недостатком являлось возможное протекание через боковые поверхности, нарушающее определенную форму количественной оценки. Поэтому прибором Бурхартца пользовались вначале очень мало, а затем для целей испытания бетона его оставили совсем.

Мы могли бы прибегнуть к коническим образцам, заключаемым при испытании в коническую форму. Уплотнение здесь достигается предварительным смазыванием бетонной поверхности парафином или гудроном, или специальной мастикой. Вода подается под широкую часто усеченного конуса и прижимает образец к форме. Этот образец был, в частности, применен на Днепре (диаметры оснований 14 и 10 см, высота 15 см). Методика показала ряд недостатков. Из-за малой величины образца приходилось из бетонной массы выбрасывать крутые зерна камневидной. Оставалась в силе опасность протекания через уплотнение. Опыты не освобождены были от кропотливой кустарщины, приходилось внимательным образом готовить к испытанию каждый образец. Достоинством •способа являлась осуществленная прибором количественная оценка явления. Автор, располагая результатами серии испытаний, произвел подсчет точностной характеристики опыта, В каждой пробе было два образца, всего проб было 74. Образцы в возрасте 28 дней выдерживались сутки под давлением в 5 ат. При испытании замечался расход воды в см³/час.

В качестве измерителя степени точности автор в данном случае считает удобным избрать не меру точности, а величину ей обратную, а именно среднее уклонение для результата по пробе d_0 :

$$d_0 = \frac{\sum_{n=1}^n |\partial_n|}{n},$$

где: n — число проб.

∂_n — уклонение одного из двух отдельных результатов n -ой пробы от среднего результата по пробе,

$|\partial_n|$ — абсолютное значение величины ∂_n .

Среднее уклонение для- результата по пробе оказалось равным

$$d_0 = 30,2\%.$$

Полученный результат имеет чрезвычайно большое значение для характеристики наших приемов испытания бетона на водонепроницаемость. Он показывает, что опыты на водонепроницаемость проводятся с незначительной степенью точности. Сравним этот результат, хотя бы с соответствующими данными в отношении опытов раздробления бетонных кубиков. Среднее уклонение для результатов проб на прочность при трех образцах в пробе равно 3,6%.

Используя подсчитанные нами численные значения характеристик точности для опыта на водонепроницаемость и для опыта на прочность, мы на основании правил теории вероятности можем подсчитать число образцов в пробе, которое опытам на водонепроницаемость может сообщить точность, одинаковую с точностью опытов на прочность. Искомым числом оказывается $n = 70$.

Если: мы хотим произвести контрольное наблюдение за водонепроницаемостью бетона и если мы хотим результат получить со степенью уверенности, характерной для контрольных испытаний на прочность, мы должны для каждой контрольной бетонной массы изготовить и испытать 70 штук образцов на водонепроницаемость.

Неравномерность результатов испытаний бетона на водонепроницаемость обуславливается в значительной мере неравномерностью свойств отдельных порций бетонной массы и в первую очередь неравномерностью структурных особенностей бетона. Последний фактор имеет без сомнения большее значение в испытаниях на водонепроницаемость, чем в испытаниях на прочность. Положим для (примера, что избыточное количество гальки, в данной бетонной порции приводит к сквозной гнезди-стости образца. Опыт указывает, что прочность такого образца меняется сравнительно в малой степени, фильтрация же воды через образец увеличивается весьма заметно. В порядке правила лабораторные опытные массы должны отличаться большим постоянством свойств, нежели контрольные порции производственной бетона. У нас не имеется систематизированных наблюдений за неравномерностью лабораторных масс, Том не менее на основании единичных наблюдений можно утверждать, что установленное нами положение о сравнительно слабой степени точности испытаний на водонепроницаемость действительно в -значительной мере и в отношении лабораторных опытных бетонных масс.

Вышесказанное достаточно поясняет причины, почему сравнительно обширные опыты на водонепроницаемость часто остаются без выводов и почему вдумчивые и осторожные исследователи не решаются опубликовать результатов подобных экспериментов. Неосторожные и неопытные исследователи делают 'большую ошибку, когда на основании нескольких результатов испытаний решают, что такой-то состав водонепроницаем, а такой-то наоборот.

Считаем полезным рассмотреть аппаратуру, употребляющуюся немецким ученым Меркле, работа которого но водонепроницаемости бетона недавно появилась в русском переводе. Меркле применяет довольно сложный прибор, за ознакомлением с которым отсылаем к первоисточнику. Форма образца — цилиндр, заключенный в металлическую форму. Меркле употребляет весьма сложные уплотнения. В качестве уплотнителей одновременно употребляются резиновые кольцевые прокладки, смазка боковых поверхностей образца горячим асфальтом и, кроме

того, шов над сосудом был залит смесью из 1 части канифоли и 1 части очищенного воска. Сосуд, в который помещался образец, предварительно нагревался, чтобы смесь хорошо сцепилась с металлической поверхностью сосуда. Крайняя кропотливость эксперимента в работах Меркле ясна сама по себе. Другие недостатки опыта таковы:

1) асфальт может входить в пористый бетон и нарушать его естественные свойства;

2) часть воды, профильтровавшейся через образец и находящейся сверху образца, отбирается пипеткой, но некоторую часть отобрать не представляется возможным;

3) флянцы, между которыми зажимается образец, стягиваются шестью болтами, что может создать неравномерное обжатие образца и неудобно в работе;

4) поверхность бетонного образца, на которую собирается вода, неудобнообозриваема.

Сам Меркле пишет, что «изоляция боковой поверхности оказалась трудно разрешимой задачей». Методика Меркле осуществляет количественную оценку, но требует большого искусства и терпения от экспериментатора и усиленного надзора за техническими исполнителями. Основным недостатком методики Меркле является сложность, кропотливость ее, в особенности в процессах подготовки образца. Зависимость удачного прохождения опыта от ряда подготовительных операций придает некоторый оттенок кустарщины методике и добавляет ее неудобной для массовых испытаний.

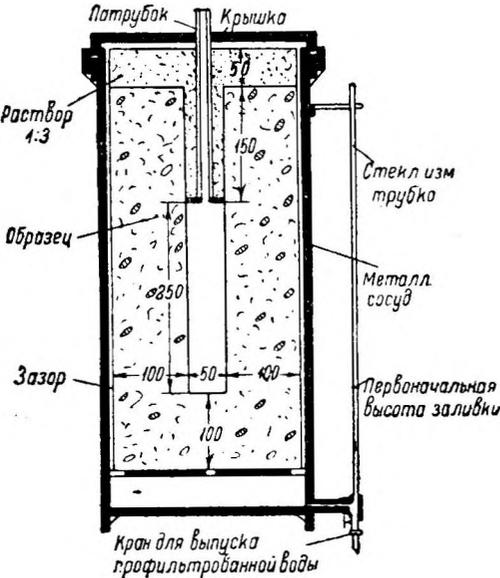


Рис. 24. Переделанный шведский образец для испытания на водонепроницаемость.

Методика Меркле самая последняя по времени из существующих весьма характерна для современного положения с аппаратурой на водонепроницаемость.

Приведенные нами рассуждения и данные и, в особенности, результаты точностной проверки убедительно свидетельствуют о том, что при существующей методике испытаний на водонепроницаемость практически невозможно получать точные указания при подборе бетона. Прежде необходимо разработать непререкаемые способы испытаний, то же самое следует сказать особенно в отношении опытов на морозоупорность, где опыты еще труднее и кропотливее.

На основании вышеизложенного понятно, почему на Свирьстрое оставили производство специальных опытов на водонепроницаемость и морозоупорность для целей подбора бетона. По-видимому было правильное исходить из некоторой схемы плотного бетона, которая достаточно близко отвечала бы сущности бетонного явления. Свирьстрой сделал попытку реорганизации наших представлений о плотном бетоне и безуспешно при дальнейшей работе над вопросом нельзя полностью пройти

мимо некоторых широких выводов в отношении плотности. Свирьстроевская постановка вопроса о плотности бетона излагается ниже. Здесь же кратко остановимся на попытках улучшения, приборов на водонепроницаемость.

Первая попытка относится к переконструированию шведского образца. Произведенная переделка шведского образца показана на рис. 24. Форма призмы изменена на цилиндр, образец, заключен в футляр с малым зазором) между образцом и футляром (около 1—2 мм). В футляр наливается вода, уровень которой виден по сообщающейся с футляром тонкой стеклянной трубке. Уровень отмечается на трубке тонкой ниткой. Высыхания образца фактически нет, так как почти устранено сообщение поверхности образца о наружным воздухом. Футляр может быть металлический или стеклянный. Стеклянный футляр представляет все

удобства удобозримости поверхностей фильтрации. Точность отсчета расхода воды равна $0,5 \text{ см}^3$. Расход воды определяется сливанием воды из трубки путем открытия крана. Вода сливается до первоначального уровня и ее объем измеряется мензурой. Недостаток прибора заключается в некоторой громоздкости изготовления образцов и производства опыта,

Кроме того, при подаче давления в некоторых образцах наблюдалось протекание воды через стык между испытуемым бетоном и бетонной шайбой. Вода, протекшая через стык, попав в футляр, вносила ошибку

в учет воды, фильтрующейся через образец. Поэтому впоследствии пришлось уменьшить высоту футляра с тем, чтобы при постановке образца в футляр стык возвышался над футляром. На образец ниже стыка, но выше футляра, надевалась резиновая лента, которая в случае протекания воды через стык, отводила ее помимо футляра. Прибор дал возможность произвести ряд интересных наблюдений над сопротивлением протеканию воды образцов из цемкамня и бетонов.

В целях упрощения изготовления образцов и производства самого опыта сконструировали второй прибор. Схема прибора дана на рис. 25. Образец имеет форму полого цилиндра, причем полость его открыта с обеих сторон. Цилиндр зажимается между двумя флянцами. Стяжной болт только один, что дает простоту в постановке и выемке образца и предохраняет от несимметричного сжатия образца. Вода подается через отверстие в болте. Способы замера воды ясны из рисунка. Уплотнение создается резиновыми кольцами. На рисунке не показан ход канала в болте до верка болта, где должен быть поставлен кран для выпуска воздуха. Опытная модель прибора при пробе показала хорошие результаты.

Работу по улучшению методов испытания бетона на водонепроницаемость необходимо продолжать. Следует иметь в виду, что прогресс здесь заключается в повышении степени точности опытов, к которому можно идти двумя путями. Первый путь — увеличение размеров об-

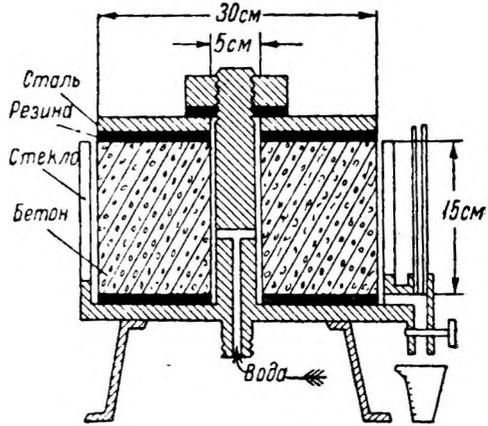


Рис. 25. Прибор на водонепроницаемость.

разца. Он вносит в опыты нежелательные элементы громоздкости. Второй путь — улучшение конструкции испытательного гнезда, в которое вставляется образец, и разработка рациональной формы образца. Во-первых, прибор должен обеспечивать простоту производства опыта, т. е. в конечном счете возможность массовых испытаний. Во-вторых, прибор должен обеспечивать безукоризненную количественную оценку явления. В отношении уплотнения представляется желательным ограничиться листовой мягкой резиной. Резина, с одной стороны, способна обеспечить полное уплотнение, с другой стороны, применение резинового уплотнения сопровождается самыми простыми операциями при устройстве и снятии уплотнения.

§ 5. Основные положения подбора плотного бетона

Изложение сущности свирьстроевского метода подбора плотного бетона мы находим удобным вести параллельно с противопоставлением его существовавшим до сих пор взглядам и их опровержением.

Прежде всего условимся рассматривать обычные бетоны на хороших, прочных и практически плотных инертных (гранит и т. п.). К таким инертным относятся как раз свирские талька и песок.

Основные положения, принятые на Свирьстрое для проектирования плотных бетонов, таковы:

- 1) Необходимо разработать правильную расчетную схему плотного бетона.
- 2) Необходимо в практическом бетоне задать некоторый запас, который бы в производственной обстановке, в условиях наличия неравномерностей производственных процессов, способен был предохранить строителя от нарушения расчетной схемы плотного бетона.

В качестве расчетной схемы плотного бетона была принята схема бетона без пустот. Такое представление о плотном бетоне не являлось в сущности совершенно новым. Оно было отправной точкой дореволюционной пустотной схемы. Оно же находит определенное подтверждение, при анализе многочисленных опытов крупных гидростроек. Все дело в том, как расчетными приемами подойти к структуре бетона без пустот. В случае применения плотных инертных может идти разговор лишь о пустотности в бетоне, усматриваемой в пространстве между зернами инертных. Совершенно должно быть ясным, что необходимо рассмотреть вопрос, насколько плотно вяжущее заполняет пространство между зернами инертных.

В дальнейшем мы условимся обозначать весовые количества в килограммах воды, цемента, песка, гальки (щебня), инертной смеси, теста, раствора и бетона соответственными буквами русского алфавита: *В*, *Ц*, *П*, *Г* (*Щ*), *И*, *Т*, *Р* и *Б*. Для объемных количеств в кубических дециметрах оставим те же обозначения, но снабдим их значком «нолик».

Переходим теперь к вопросу определения количества пустот в инертном. Формулы для количества пустот в инертной смеси общеизвестны. Эти формулы обычно прилагаются в отдельности к гальке и к песку, но мы прилагаем их к инертной смеси, так как интересуемся пустотностью именно в инертной смеси. Абсолютное количество пустот равно

$$A = I_0 - \frac{I}{d}; \quad (1)$$

относительное количество пустот в частях от объема инертных

$$a \Rightarrow 1 - \frac{p}{d}, \quad (2)$$

причем под p и d обычно понимают соответственно объемный и удельный веса инертных. Необходимо отметить в целях точности, что величина d в сущности должна отвечать объемному весу породы, из которой получились данные инертные, но для обычных инертных объемный вес породы весьма мало разнится от удельного веса. Приведенные формулы с точки зрения физики непререкаемы, тем не менее применение их на практике приводит к целому ряду недоумений и опоров. Не ясно к какому состоянию уплотнения инертных следует относить эти формулы, что понимать под «стандартным» состоянием инертных. Другими словами идет спор, как измерить объем инертного I_0 для формулы (1) и объемный вес p для формулы (2). Одни авторы рекомендуют те или иные способы трамбования смеси, другие стоят за рыхлую насыпку, третьи придерживаются среднего арифметического из значений для уплотненного и рыхлого состояний. Подоплека этих различных взглядов одна и та же: авторы исходят из представления, что инертная смесь обладает некоторым абсолютным значением количества пустот и это абсолютное значение характеризует пустотность данной инертной смеси во всех случаях жизни. На самом деле никакого абсолютного бесцелевого значения количества пустот в инертном нет, и оно никак не должно нас интересовать.

Нас интересует определенное значение количества пустот в инертном только потому, что инертные являются одной из составных частей бетонной массы и при различных обстоятельствах, различных добавках и родах вяжущего, образуют ту или другую пустотность, заполняемую в бетоне воздухом и цементным тестом. Отсюда ясно, что вместо какого-то надуманного состояния уплотнения следует рассматривать до состояние разрыхления, в котором инертные частицы как раз и находятся в бетоне. Иными словами, для формулы (1) должно быть

$$I_0 = B_0,$$

а для формулы (2)

$$p = \frac{I}{B}.$$

В таком случае вместо формул (1) и (2) можно написать формулы

$$M = B_0 - \frac{I}{d}, \quad (1')$$

$$m = 1 - \frac{I}{dB_0}. \quad (2')$$

Как легко видеть, правая часть новых формул отвечает объему бетона минус объем, занятый зернами инертных. Она равна той части объема бетона, которая не занята инертными частицами. Вполне естественно эту часть объема бетона назвать междуинертным пространством. Обозначения для междуинертного пространства в кубических дециметрах — M , в частях от объема бетона — m .

Объем вяжущего до сих пор было принято определять через объем цементного теста и считалось, что бетон будет без пустот, если взято цементного теста в количестве, достаточном для заполнения пустот

в инертной смеси. Объем цементного теста легко получить из вполне понятной формулы

$$T_0 = \frac{Ц}{3,1} + \frac{B}{1,0}, \quad (3)$$

где 3,1 и 1,0 удельные веса цемента и воды. Отсюда выход цементного теста из 1 кг цемента

$$t = 0,322 + w. \quad (4)$$

Общераспространенное мнение о роли объема цементного теста в пустотных, расчетах не подтверждается на опыте. Для этого достаточно изготовить пластичную или литую массу с расходом цемента около 200 кг/м^3 , набить бетонный массив, на котором и проверить плотность бетона. Приведем данные свирьстровского опыта изготовления бетона номинального состава $1 : n = 1:11$ с водоцементом $w = 0,79$. Цемента взято было $Ц = 18 \text{ кг}$ и воды $B = 14,2 \text{ кг}$. Объем цементного теста:

$$T_0 = \frac{18}{3,1} + \frac{14,2}{1,0} = 20 \text{ дм}^3.$$

Объем междуинертного пространства получился (подробнее см. ниже):

$$M = 18,34 \text{ дм}^3.$$

Таким образом объем цементного теста даже превышает несколько объем междуинертного пространства. Как будто бы бетон должен быть плотным, однако, попробуем обломать кусок бетона и тогда простым глазом убедимся в безусловной его пористости. Поверхность излома оказывается усеянной каплеобразными пустотами размером от мельчайших до 5—6 мм. Пустотность усматривается хорошо и на ложе, которое образуется, если с поверхности излома сбить зерно крупной гальки. Несоответствие расчетной схемы сущности явления усматривается непосредственно. Ясно, что необходимо углубиться в механику образования пустотности, если мы хотим перейти к правильным теоретическим представлениям. Возьмем цемента $Ц = 18 \text{ кг}$ и воды $B = 14,2 \text{ кг}$, приготовим цементное тесто и поместим его в какой-либо призматический сосуд. Обмер покажет объем цементного теста $T_0 = 20 \text{ дм}^3$. Через небольшой срок произойдет разделение массы, а именно цемент осядет на дно, а над ним соберется слой из чистой воды объемом $3,8 \text{ дм}^3$. Через несколько десятков часов слой чистой воды испарится и на дне сосуда мы получим цементный камень объемом $K_0 = 16,2 \text{ дм}^3$. Если этот цементный камень разломать и осмотреть поверхность излома, то мы увидим перед собой плотную однообразную массу цементного камня безвоздушных пузырьков. Наш опыт свидетельствует, что цемент, находясь в цементном тесте, не может освоить полностью всего количества воды и отделяет чистую воду в количестве

$$\frac{3,8}{14,2} \cdot 100 = 27\%,$$

считая от объема залитой воды. Эти 27% воды впоследствии испаряются, а может быть частично осваиваются цементным камнем без заметного изменения его объема. Чистая вода при соответствующих значениях водоцементного отделяется от цементного теста во время его твердения и в бетоне. Но в бетоне эта вода не в состоянии пробиться наверх, во всяком случае полностью, и отделяется внутри бетонной массы,

образуя там водяные пузырьки. Вполне естественно, что водяные пузырьки с течением времени превращаются в воздушные. Пористость обычных пластичных и литых бетонов, изготовленных как будто бы и с достаточным количеством цементного теста, объясняется как раз отделением части воды в виде водяных пузырьков, и последующим перерождением их в пузырьки воздушные. Отсюда понятно, почему при пустотных расчетах нельзя исходить из объема цементного теста. Цементное тесто может в некоторых отношениях характеризовать бетон-

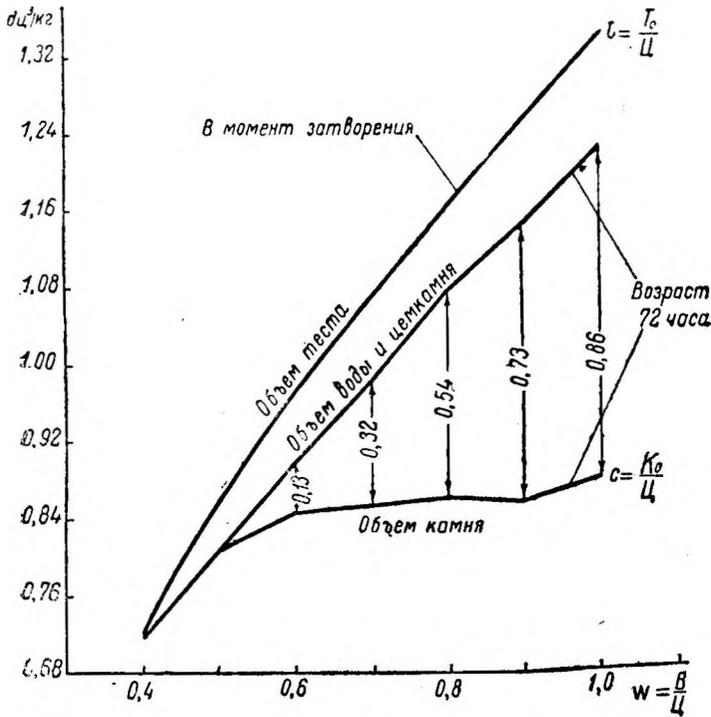


Рис. 26. Выходы цементного теста и цементного камня.

ную массу, а не затвердевший бетон (например, объем литой бетонной массы равен абсолютному объему инертных плюс объем цементного теста). Но при пустотных расчетах в качестве объема вяжущего необходимо брать объем цементного камня K_0 , который не трудно получить посредством сравнительно простого опыта на определение выхода цементного камня. Попутно отметим, что при неосторожном замешивании цементного теста можно получить цементный камень с воздушными пузырьками, правда весьма редкими и незначительных размеров. Чтобы избавиться от этих маленьких и редких пузырьков, следует применять постепенную засыпку цементного порошка в воду и осторожное помешивание при затворении.

Для иллюстрации соотношении выходов цемтеста и цемкамня приводится рис. 26. Затворение цемтеста произведено в формах для цементных кубиков. Выходы цемтеста и цемкамня выражены в кубических дециметрах и отнесены к 1 кг цемента. По оси абсцисс отложены водоцементы цемтеста. Диаграмма позволяет сделать два вывода. Первый

вывод: выходы цемкамня $c = \frac{K_0}{II}$ возрастают вместе с увеличением зна-

нения водоцемента. Таким образом плотность цемкамня, повидимому, уменьшается вместе с увеличением водоцемента. Этот вывод должен безусловно заинтересовать нас при установлении схемы плотного бетона и нуждается в углубленном рассмотрении.

Теперь обратимся к кривой выходов цемгеста

$$t = \frac{T_0}{II}. \text{ Мы уже упо-}$$

минали про формулу объемов цемгеста (4). Формула (4) может отвечать двум представлениям о физической сущности процессов, имеющих место при затворении цемгеста: 1) вода не проникает в цементные частички, 2) вода проникает в цементные частички, но количество воды, ассимилированной цементом, и точности равно приращению объема разбухших цементных частичек. Формула (4) выражает, что объем цемгеста равен объему воды, взятой для затворения, плюс объем цементных частичек и что при увеличении водоцемента объем цемгеста получает приращение, в точности равное соответственному увеличению водяной добавки. Формула (4) дает для водоцемента $w = 0,40$ значение выхода

цемгеста $t = \frac{T_0}{II} = 0,723$, в точности отвечающее диаграмме. Но по мере

увеличения водоцемента диаграмма начинает давать значения объема цемгеста, большие соответствующих значений t , получаемых из формулы. При увеличении водяной добавки цемгесто получает приращение объема, превышающее объем дополнительной добавки воды. Другими словами при увеличении водяной порции цементные частички разбухают на величину, большую по сравнению с объемом ассимилированной воды. Мы приходим ко второму выводу. По-видимому нельзя еще считать, что к настоящему моменту окончательно выяснена сущность физических процессов, сопровождающих образование цемгеста, а следовательно, и цемкамня. Вопрос необходимо подвергнуть дальнейшему обследованию. Считаем уместным здесь упомянуть об опытах на выход цемкамня с различными цементами: «000», «00» и трассовым. Выходы цемкамня для различных цементов оказались различными и выяснилось, что при суждениях о плотности бетона необходимо пользоваться кривой объемов цемкамня, построенной как раз для данного сорта цемента. Для одного и того же водоцемента цементы в отношении возрастания выходов цемкамня в свирьстроевских опытах расположились так: сначала цемент «000», затем цемент «00» и, наконец, цемент трассовый. Возможных объяснений такого расположения можно привести три.

1) Выход цемкамня должен зависеть от абсолютного объема цементных частичек, входящих на 1 кг цемента. Он должен быть тем больше, чем больше удельный абсолютный объем цементных частичек. Рассматриваемые цементы в отношении удельных абсолютных объемов цементных частичек расположились как раз в вышеуказанном порядке.

2) Выход цемкамня должен зависеть от взаимного расположения цементных частичек в цемкамне. Цементные частички, взвешенные в воде только что затворенного цемгеста, начинают опускаться на дно сосуда и должны проскользнуть относительно уже лежащих частичек тем ниже, чем больше удельный вес цемента. Другими словами выход цемкамня при прочих равных обстоятельствах должен оказаться больше для цемента с меньшим удельным весом. Предположение вполне отве-

чает данным опыта, так как в отношении удельных весов цементы расположились в порядке, обратном вышеприведенному.

3) Выход цемкамня должен зависеть от коэффициента трения между цементными частичками, так как цементные частички должны лечь тем плотнее, чем меньше коэффициент трения. Коэффициент трения должен быть меньше у цементов более активных, которые, находясь в воде, должны скорее обрастать студнеобразным слоем. И это предположение не противоречит опыту, так как цементы в отношении активности расположились в порядке, обратном вышеприведенному. Кроме того, предположение находит аналогии в определении количества воды для нормальной пластичности цементного теста. Нормальное количество воды должно ближайшим образом зависеть от легкости перемещения цементных частичек друг относительно друга и в соответствии с нашим пред-

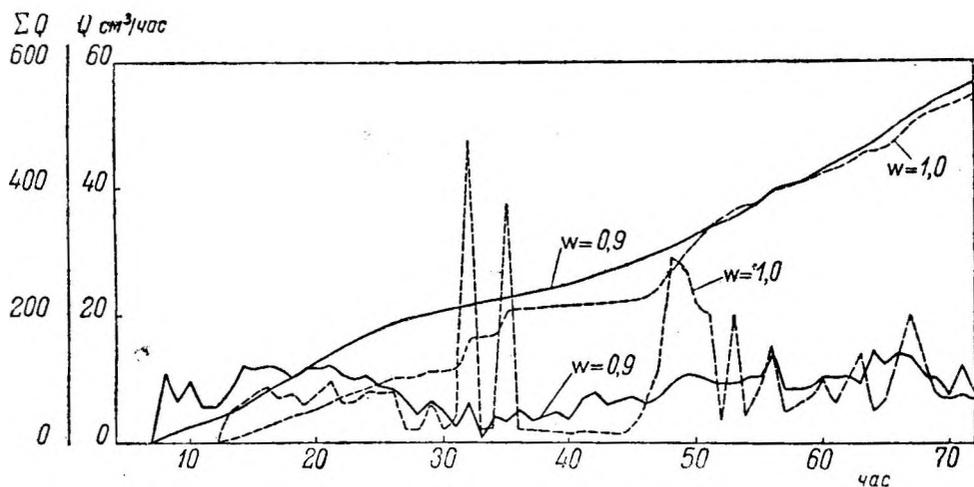


Рис. 27. Фильтрация через цементные камни с

$$w = \frac{B}{\Pi} = 0,90 \text{ и } 1,00.$$

положением должно уменьшаться для цементов более активных. Подтверждение этого мы и находим в данных табл. 8 (стр. 210).

Разберем теперь вопрос о плотности цемкамня, для чего используем данные опыта на водонепроницаемость цемкамней. Опыты производились на шведских цилиндрах; цемент для опыта применен марки «00». Формы заливались цементом с водоцементами, менявшимися для различных образцов от $w = 0,50$ до $w = 1,20$. Получившиеся по затвердении цементные образцы цемкамней испытывались в возрасте 28 дней. Давление постепенно доводилось до 4 ат и поддерживалось в течение 72 часов. Результаты испытания в противоположность бетонным образцам получились весьма ровными, что можно отнести за счет большей степени равномерности свойств цемкамня по сравнению с бетоном. Итак следует иметь в виду, что испытание цемкамня должно происходить без затруднений, возникающих в связи с малой степенью точности эксперимента. Образцы по результатам испытания разделились на 2 группы: образцы с водоцементом $w < 0,90$ фильтрации не дали, образцы с $w \geq 0,90$ фильтрацию дали. О размерах фильтрации можно судить по рис. 27, где представлены кривые часовых расходов для образцов с $w = 0,90$ и $w = 1,00$. Результаты испытания можно объяснить так:

цементные частички в цементном камне лежат с промежутками, через которые и может проходить вода под давлением. Цементные частички, встречаясь с водой, претерпевают процесс разбухания (самоуплотнение цемкамня) и до $w < 0,90$ разбухшие частички закрывают проход воде. Начиная с $w = 0,90$ две соседние цементные частички начинают располагаться друг от друга с таким большим промежутком, что он не может перекрыться в результате процесса самоуплотнения. Обнаруженное явление имеет для нас большое значение. Оказывается, что резкое качественное изменение свойств цемкамня происходит при $w = 0,90$. Значение водоцемента $w' = 0,90$ следует считать предельным, отвечающим плотным цемкамням. На практические условия необходимо задать некоторый запас $\eta > 1$, и практическими значениями водоцемента, гарантирующими надлежащую степень плотности цемкамня, следует считать значения водоцемента

$$w \leq \frac{1}{\eta} w'.$$

Величина η не подвергалась основательному изучению. Американцы на основании большого производственно опыта считают, что бетоны на обыкновенных портланд-цементах практически водонепроницаемы при $w \leq 0,70$. Принимая значение $w = 0,70$ в качестве практически предельного, получаем значение для η :

$$\eta = \frac{0,90}{0,70} \approx 1,30.$$

В практических случаях жирных составов, о которых речь будет дальше, водоцементы в случае применения обыкновенных портланд-

цементов всегда ниже $w = \frac{1}{\eta} w'$ (на Днепрострое $w = 0,625$, на Свирьстрое $w = 0,56$). Поэтому мы можем сделать вывод о возможности пренебрежения различием в плотности цемкамней при расчетах плотного бетона и считать в упомянутых случаях цемкамень плотным. Отметим, что опыты на водонепроницаемость цемкамней на цементе «000» и цементе трассовом установили предельное значение водоцемента соответственно $w = 1,00$ и $0,65$. Эти результаты позволяют сделать заключение, что цементы в отношении возрастания промежутков между цементными частичками в цемкамнях располагаются так: «000», «00», трассовый или что в отношении разбухания частичек цементы располагаются в порядке, обратном приведенному. Оба заключения не противоречат друг другу и согласуются с предположениями, высказанными нами в связи с диаграммой выходов цемтеста и цемкамня и сопоставлением выходов цемкамня для различных цементов. Обращает на себя внимание сравнительно низкое значение предельного водоцементы для трассового цемента. Оно свидетельствует о том, что бетоны при трассовом цементе при одних и тех же значениях водоцементы должны быть более водонепроницаемыми, чем бетоны на портланд-цементе. Плотные цемкамня на трассовом цементе должны характеризоваться практическим предельным значением $w = \frac{1}{1,30} \cdot 0,65 = 0,50$.

Рассмотрим вопрос об идентичности свойств цемкамня. Необходимо установить, идентичны ли свойства цемкамней, которые мы готовим в опытах на определение выхода цемкамней, со свойствами цем-

каменной в бетоне. При расчетах плотности бетона нас должна интересовать идентичность объемная. Другими словами надо знать, равен ли объем цемкамня, определенный по кривой выходов цемкамней, объему цемкамня в бетоне. С этой целью произведен опыт, результаты которого отражены на рис. 28. В опыте изготовлялись бетонные массы со сплывом 21 см с различными номинальными составами. Был принят ряд мер к уменьшению неравномерности свойств бетонной массы: 1) в качестве инертного взята была одна фракция от 10 до 20 мм, 2) заранее построена была кривая зависимости водоцемента от номинального состава для сплыва 21 см и т. п. По оси абсцисс отложены номинальные составы. На диаграмме построены две кривые: кривая объемов цемкамня и кривая объемов междуинертного пространства. Междуинертные пространства определялись путем изготовления на каждый данный номинальный состав бетонной замески в объеме, достаточном для заполнения формы 20X20X20 см.

Для определения объема цемкамня цемент брался в количестве, равном порции цемента для соответствующей бетонной замески, и затворенное цементно для измерения объема получавшегося впоследствии цемкамня заливало в форму 20 X X 20X20 см. Диаграмма делится ординатой, отвечающей номинальному составу 1 : n = 1 : 3,5, на две части: в правой части цемкамня не хватает для заполнения междуинертного

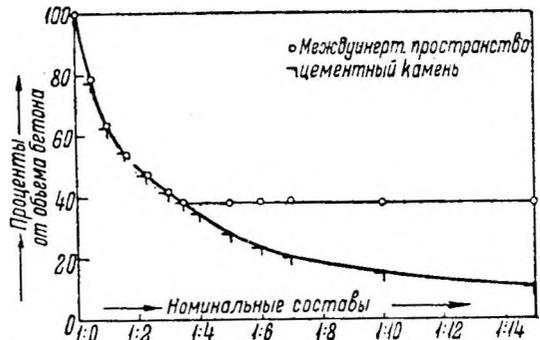


Рис. 28. Диаграмма объемов междуинертного пространства и цемкамня бетонов со сплывом 21 см и на инертных 10 — 20 мм.

пространства, в левой части цемкамня взято в количестве, достаточном для заполнения междуинертного пространства. В левой части диаграммы точки объемов междуинертного пространства и точки объемов цемкамня расположились так близко друг от друга, что не представилось возможным провести отдельные кривые для междуинертного пространства и для цемкамня. Это обстоятельство в достаточной мере свидетельствует о том, что цемкамня, входящий в качестве составной части в затвердевший бетон, в отношении свойств, существенно важных при плотностных расчетах, не отличается заметным образом от цемкамня, который определенными способами готовится для построения кривой выходов цемкамней.

Выяснив ряд обстоятельств, связанных с двумя вопросами плотности, а именно как замерять объем вяжущего и как замерять объем пустот в инертном, мы можем поставить вопрос о выполнении расчетной схемы плотного бетона. Ясно, что нам необходимо прибегать к сравнению междуинертного пространства M и объема цемкамня K_0 . Если K_0 окажется меньше M , то перед нами будет бетон не плотный по причине недостаточного заполнения цементным камнем пустот в инертном, называемый тощим. Если $K_0 = M$, то бетон следует отнести к разряду, в котором цементный камень заполняет междуинертное пространство без пустот; такой бетон будем называть жирным.

Жирные составы в нашем случае будут плотными. В самом деле, неплотность бетона обуславливается или: 1) плохими качествами инерт-

ных, или 2) неполным заполнением цемкамнем междуинертного пространства, или 3) неплотностью цемкамня. Первого условия не существует, так как мы договорились рассматривать бетоны на хороших плотных инертных. Второе условие противоречит основным свойствам жирных бетонов. Третье условие не имеет места, так как для бетонов на нормальных портланд-цементях (и трассовых цементях) водоцемент жирного состава меньше w' . При большем водоцементе в цемкамне бетона должно отделиться такое количество воды в виде водяных пузырьков, превращающихся с течением времени в пузырьки воздушные, что не может быть выполнена схема жирного состава.

Жирный бетон с минимальным объемом междуинертного пространства назовем переходным составом. Переходный состав само собой понятно, является границей жирных и тощих бетонов. При увеличении или уменьшении порции цемкамня в переходном составе мы соответственно получим или жирные бетоны, или тощие. В качестве расчетной схемы плотного бетона вполне естественно выбрать как раз переходный состав. Обозначения междуинертного пространства и объема цемкамня для переходного состава условимся сопровождать значком коммы сверху. Отыскать составную пропорцию переходного состава можно путем приготовления пробных замесок с все увеличивающейся добавкой цемкамня.

Авторы предложений по пустотным расчетам исходят из значения водоцемент, определяемого по требованию прочности. Для нас же ясно, что все пробные замески при опытах на плотность должны изготавливаться при одной и той же степени пластичности, т. е. при одном и том же оплыве, и в зависимости от этого и получится необходимое значение водоцемент. Таким образом плотностное решение происходит совершенно независимо от прочностного. Из двух значений водоцемент, определившихся из расчетов на прочность и плотность, выбирается наименьшее.

Приведем данные по подбору основного свирского состава. Сначала взяли в качестве пробы состав 1:11, который в пробной замеске представился так:

$$B : Ц : П : Г = 14,2 : 18 : 75,24 : 122,76 \text{ кг.}$$

Водоцемент $w = 0,79$, сплыв был $s' = 8 \text{ см}$, по большему конусу (высота конуса 45 см , диаметры оснований 15 и 30 см). Отношение

$$\gamma = \frac{Г}{П} = 1,63.$$

Выход бетона (в затвердевшем виде) $B_0 = 93,14 \text{ дц}^3$. Расход цемента

$$Q = 1000 \frac{Ц}{B_0} = \frac{18}{93,14} \cdot 1000 = 193 \text{ кг/м}^3.$$

Общий вес инертного: $И = П + Г = 198 \text{ кг}$. Удельный вес инертных оказался $d = 2,65$. Абсолютный объем инертных будет

$$\frac{И}{d} = \frac{198}{2,65} = 74,80 \text{ дц}^3.$$

Междуинертное пространство будет:

$$M = B_0 - \frac{И}{d} = 93,14 - 74,80 = 18,34 \text{ дц}^3.$$

Определили выход цемкамня, взяли $B = 14,2 \text{ кг}$ и $Ц = 18 \text{ кг}$, цементное тесто влили в плотную железную форму для кубиков

30 X 30 X 30 см. Лишняя вода отделилась сверху; после испарения верхнего слоя воды высота цементной призмы оказалась 1,8 *дц*, объем цемкамня:

$$K_0 = 9 \times 1,8 = 16,2 \text{ дц}^3$$

или в кубических дециметрах на 1 кг цемента:

$$c = \frac{16,2}{18} = 0,9.$$

Сравнение показывает:

$$K_0 = 16,2 \text{ дц}^3 < M = 18,34 \text{ дц}^3.$$

Следовательно разбираемый состав тощий.

Для второй пробы взят состав 1 : *n* = 1 : 7. Пробная замеска:

15,5 : 28 : 74,48 : 121,52. Сплыв *sl* = 8 см, $\gamma = 1,63$, $w = 0,554$, $c = 0,80$, $B_0 = 96,13 \text{ дц}^3$.

$$Q = 1000 \frac{28}{96,13} = 291,5 \text{ кг/м}^3.$$

Сравнение для разнообразия произведем на цифрах, отнесенных к объему бетона. Объем междуинертного пространства

$$m = 1 - \frac{II}{dB_0} = 1 - \frac{196}{2,65 \cdot 96,13} = 0,23.$$

Объем цемкамня

$$q = \frac{cQ}{1000} = 0,80 \cdot 0,2915 = 0,233 \approx 0,23.$$

Таким образом $M = q$, и мы имеем дело с жирным составом бетона.

Путем последовательного уменьшения расхода цемента (при сохранении постоянными $\gamma = 1,63$ и *sl* = 8 см) убеждаемся, что при

$$n = 8,79, w = 0,637, sl = 0,85; Q = 240 \text{ кг/м}^3,$$

объем цемкамня $q' = 0,85 \times 0,240 = 0,204$ и объем междуинертного пространства

$$m' = 1 - \frac{II}{dB_0} = 1 - \frac{nQ}{1000d} = 1 - \frac{8,79 \cdot 0,240}{2,65} = 0,204 = q',$$

но при дальнейшем снижении *Q* мы приходим к составам с *m* определенно большим *q*.

Таким образом для бетонов с пластичностью в 8 см, изготовленных на свирской инертной смеси, вполне определяемой отношением $\gamma = 1,63$, переходным составом оказался состав 1 : 8,79, причем междуинертное пространство для этого состава равно 20,4%, считая проценты от объема бетона. Итак мы получили расчетную схему плотного бетона для определенных местных условий и узнали, что расчетное количество цемкамня, необходимое для получения плотного бетона, равно $q = 20,4\%$, считая от объема бетона. Если проводить аналогию с прочностью бетона, количество цемкамня $q' = 20,4\%$ будет соответствовать расчетному допускаемому напряжению. Из описания опыта по нахождению переходного состава должно стать ясным, что результаты лучше всего получать способом вычерчивания кривых *m* и *q* и отысканием точки расхождения этих кривых (ср. рис. 28), но переходный состав можно считать плотным, морозоупорным и водонепроницаемым в специфических условиях лабораторного эксперимента, проводимого с величайшей тщательностью

и точностью. При переходе к практическим условиям мы сталкиваемся с наличием ряда производственных неравномерностей, например, с определенной степенью неточности дозировки на бетонном заводе, с определенной степенью изменчивости свойств бетонных составляющих и т. п. В соответствии с теорией неравномерностей можно считать, что в практических условиях при изготовлении переходного состава вероятность появления жирных порций бетонной массы равна $1/2$, т. е. мы можем надеяться, что бетон будет жирным, а следовательно, и плотным в данных условиях лишь для половины общего числа изготовленных бетонных замесов.

В практических условиях нельзя ограничиться расчетным объемом цемкамня. Необходимо задать объем цемкамня в бетоне q несколько

большой, чем расчетный объем q' , так что $\theta = \frac{q}{q'}$ будет > 1 . В практи-

ческой обстановке мы будем при равных прочих условиях тем дальше от возможности появления порций тощего бетона, чем большим значением q , а следовательно, и чем большим значением θ зададимся. Если продолжать аналогию с прочностью бетона, то величина q будет соответствовать временному сопротивлению бетона, а величина θ будет отвечать коэффициенту запаса. Величина θ и будет в действительности коэффициентом запаса объема цемкамня в бетоне. Мы считаем возможным величину θ назвать коэффициентом жирности, последний в случае жирных бетонов является измерителем степени уверенности в получении плотного бетона в практических условиях.

Коэффициент жирности для определенных производственных условий должен быть равен совершенно определенной величине. Если изготавливать бетон с коэффициентом жирности θ , меньшим этой определенной величины, то мы будем получать труднообрабатываемые бетоны, способные при укладке причинять много затруднений прорабу, который не сумеет избежать раковинистости бетона. Если упомянутую цифру превзойти, то легкость укладки бетона будет в значительной мере облегчена, но мы сделаем ошибку и ожирим бетоны без особой к тому надобности. Напрасное ожирение бетона невыгодно по экономическим соображениям и вследствие увеличения усадочных и других нежелательных явлений.

Выбор значения коэффициента жирности, отвечающего данным производственным условиям, выбор значения коэффициента, этой безусловно весьма важной технической и экономической характеристики бетона, является серьезным вопросом. Этот вопрос можно было бы обстоятельно осветить, если бы в распоряжении имелись исчерпывающие сведения о неравномерностях соответствующих производственных процессов. Но, к сожалению, производственные неравномерности до настоящего времени почти не изучались и обстоятельных данных по производственным неравномерностям не накоплено. В таком случае производственный опыт на стройке должен иметь решающее значение. При наблюдении за укладкой широкого бетона при самых различных условиях и при некоторых изменениях бетонных пропорций автор старался внимательно следить за обстоятельствами и результатами укладки бетона и сопоставлял свои наблюдения с определенившимися значениями коэффициента жирности. В результате этих наблюдений определилась цифра $\theta = 1,10—1,12$. Эту цифру мы и решаемся рекомендовать к расчету плотных бетонов в случаях укладки пластичного бетона в массивные блоки способами утаптывания. Для обычных построек, где нельзя до-

стигнуть большой точности в отмеривании бетонных составляющих и где нет уверенности за постоянство свойств составляющих, необходимо, по-видимому, рекомендовать $\theta = 1,15—1,175$ и даже 1,20. Теперь мы наглядно видим пользу улучшения постановки дела на бетонном заводе и в лаборатории. Экономические выгоды от этого улучшения выражаются соответственным уменьшением значения θ .

Отыскание пропорции состава бетона с определенным коэффициентом жирности должно совершаться путем пробных замесок с назначенным сплывом. Отыскивается такой состав, для которого объем цементного камня K_0 удовлетворяет уравнению $K_0 = \theta K_0'$. На Свирьстрое эта операция производилась с помощью кривой, изображающей зависимость междуинертного пространства от номинального состава (например, сплошная кривая M на рис. 29). Эта кривая имеет две ветви: левая отвечает жирным бетонам, правая бетонам¹ тощим. Если кривую продолжить, то можно убедиться, что левый ее участок является кривой, обращенной выпуклостью вниз.

Крайняя левая точка, само собой понятно, будет отвечать ординате 100%. Правый участок кривой в различных случаях имеет различный вид. В данном случае представилось возможным обе части кривой изобразить отрезками прямых.

Оба участка кривой имеют разные наклоны, так как отвечают разным физическим процессам. В левой части добавка цементного камня идет единственно на раздвиг зерен инертного.

В правой части в основном добавка цементного камня идет на заполнение пустот между зернами инертного и частично на раздвиг их. Точка перелома кривой отвечает переходному составу.

Здесь ордината равна 20,0%. Отыскиваем состав, ордината для которого равна $20,0 \times 1,12 = 22,4\%$. Искомый состав отвечает номинальному составу $n = 7,3$, с водоцементом $w = 0,50$. Отметим, что понятие коэффициента жирности мы можем распространить и на правую

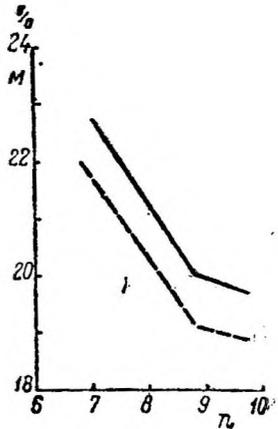


Рис. 29. Пример кривых междуинертного пространства для бетона на крупной гальке.

часть диаграммы. Здесь коэффициент будет равен

$$\theta = \frac{K_0}{M}, \text{ где } K_0 \text{ и } M —$$

объем цемента и междуинертного пространства для данного состава. Коэффициент θ для правой части будет получаться меньше единицы и своей величиной будет характеризовать в определенном порядке степень отощенности состава.

Нам осталось разобрать нахождение соотношения между камневидной и песком. Наиболее распространенный способ отыскания соотношения крупной добавки к мелкой таков: определяют количество пустот в гальке (или соответственно в щебне) и берут объем раствора, равный или немногим больше количества этих пустот. После этого нетрудно получить отношение гальки к песку, если только известна составная пропорция для цементно-песчаного раствора. Неправильность описанного способа определения соотношения гальки и песка легче всего установить на следующем частном случае. В целях упрощения рассуждений условимся брать раствор в количестве как раз равном количеству пустот в гальке. Также в целях упрощения рассуждений выберем опреде-

ленный тип раствора, а именно зададимся значением коэффициента заполнения цементом пустот в песке, равным единице. При таких условиях объем песка равен объему раствора и, следовательно, объем песка равен как раз количеству пустот в гальке. Но опыт показывает, что часто подсчитанный таким образом объем песка не в состоянии разместиться в пустотах гальки. Недостаточно мелкие зерна песка раздвигают зерна гальки и объем смеси получается больше взятого перед опытом объема гальки. В целях наглядности представим предельный случай, когда песок по крупности не отличается от гальки. Ясно, что в этом гипотетическом, предельном случае песок совершенно не в состоянии будет разместиться в пустотах гальки и объем смеси будет равным сумме объемов гальки и песка. Объем пустот в гальке при гипотетической комбинации инертных равен нулю.

Для обычной комбинации инертных явление сохранится в силе, но предстанет в ослабленной степени. Количество пустот в гальке, определенное, собственно говоря, по отношению к воздуху, не будет являться тем объемом, который может быть свободно заполнен зернами песка. Объем заполнения будет меньше количества пустот в гальке. Отсюда вытекает ошибочность раздельного рассмотрения коэффициентов заполнения песка вяжущим и гальки раствором. Можно раствор, где песок заполнен вяжущим, взять в объеме, достаточном по расчету для заполнения пустот в гальке, но при наличии распирающего эффекта песка в смеси инертных получится пустот больше, чем ожидали, и они не будут заполнены вяжущим. Поэтому правильно рассматривать единственно заполнение вяжущим пустот в инертной смеси, а раз это так, то единственно правильный способ подбора соотношения гальки к песку в плотностных расчетах может заключаться в отыскании оптимального отношения

$\gamma = \frac{Г}{П}$. Задаются тремя-четырьмя соотношениями γ , для каждого

соотношения отыскивают плотный состав бетона и выбирают окончательно то значение, которое дает наиболее экономичный состав, т. е. в обычных условиях состав с наименьшим расходом цемента на 1 м³ бетона. Практически на Свирьстрое такой способ полностью применить по ряду обстоятельств не удалось и в опытах была использована представившаяся возможность упрощения подборочных операций. Построили кривую междуинертных пространств переходного состава в зависимости

от $r = \frac{П}{Г+П}$ и заметили минимум. После этого брали инертные без цемента,

увлажненные до степени влажности в 3%, и укладывали их в формы с такими же приемами укладки, которые применяются при набивке бетонных кубов. Для этих инертных также построили кривую междуинертных пространств и отыскали здесь минимум. Сравнение обеих кривых показало, что одна кривая легла выше другой, но что минимумы обеих кривых соответствовали весьма близко одному и тому же значению

$r = \frac{П}{П+Г}$. На основании вышесказанного отыскание для бетонов

величины γ с минимальным значением m' было заменено отысканием m' для инертных, увлажненных до степени влажности в 3%.

На основании некоторых наблюдений можно судить, что оптимальное значение r в плотностных расчетах близко к оптимальному значению r в прочностных расчетах, т. е. к z , получаемому при сравнении бетонных замесок, для которых меняется r , а прочность R и спływ $s/$

постоянны. Поэтому, по-видимому, оптимальное значение r можно брать из прочностных расчетов.

Дальнейшая разработка схемы плотного бетона необходима. В частности, следует более подробно изучить зависимости стойкости бетона против действия внешних факторов от свойств инертных и цемента, от значения междуинертного пространства переходного состава и коэффициента жирности. Изучение это невозможно без улучшения существующих методов производства опытов на водонепроницаемость и морозоупорность.

§ 6. Составные пропорции бетона

Строительство пользовалось в основном шестью марками бетонов. Основным бетоном являлась марка № 1. На бетоне этой марки укладывался бетон массивных гидротехнических частей. Всего марки № 1 уложено около 400 000 м³ или около 70% от общей кубатуры. Пластичность бетонной массы определялась сплывом 6—9 см но большому конусу. Укладывался бетон путем утаптывания ногами. Бетон вываливался конической кучей из бабды, располагавшейся на высоте 1 м над прежде уложенным бетоном в блок. Рабочие, ходя по куче в резиновых сапогах, постепенно растаскивали ее в слой толщиной 15—20 см.

Возможность растаскивания бетонной кучи единственно утаптыванием является одним из важных признаков удачно подобранного пластичного бетона. Нога, рабочего в бетоне, тонула: приблизительно на 10—20 см. Лопата нормально применялась лишь при наличии скоплений гальки, и лопатами гнездо гальки разбрасывалось по массе свежееукладываемого бетона. Забота о наружных поверхностях выражалась в соблюдении предельного расстояния подаваемой бабды от опалубки в 0,75 — 1 м. Тогда основание бетонной кучи не доходило до опалубки. Кроме того следили особо тщательно за возможными скоплениями гальки у опалубки и применяли прорезку лопатой вдоль опалубки.

Вторым важным признаком пластичного плотного гидротехнического бетона является отсутствие отделяющейся в блоке воды. Вследствие наличия производственных неравномерностей в блоках появлялись иногда лужицы воды, которые отчерпывались ковшами в ведра и затем сливались вне пределов блока.

Требование к временному сопротивлению бетона было через 28 дней 160 кг/см². Отроились графики зависимости временного сопротивления от водоцемент. Один из них приведен на рис. 30. При применявшемся сорте портландцемента, прочность бетона для значения водоцемент

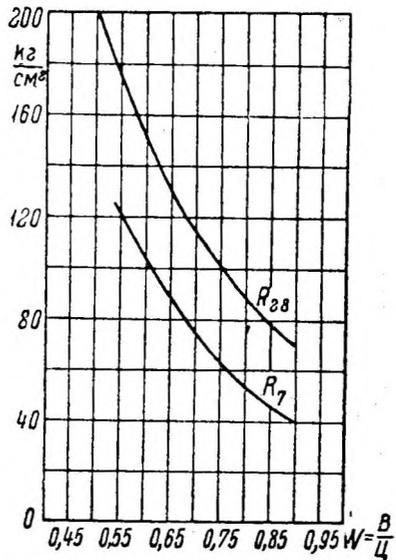


Рис. 30. Зависимость временного сопротивления от водоцемент для бетона на крупной гальке и цемента „00“.

$w = 0,56$ получалась в среднем 175 кг/см^2 . Таким образом мы имели перед собой случай, когда плотностные требования к водоцементу покрывают собой прочностные требования, хотя и в малой степени.

Плотностной расчет обычно устанавливал для коэффициента жирности $\theta = 1,10—1,12$ такие данные: номинальный состав $n = 7,3$.

$w = 0,56$, расход цемента $Q = 280 \text{ кг/м}^3$ и содержание песка, в инертной смеси 35—36%.

Состав бетона в общем был устойчивым и мало менялся в зависимости от производственных обстоятельств. Объемный вес бетона, определенный взвешиванием и обмером контрольных кубиков, оказался в среднем 2,49.

Укажем характерные данные по составу № 1 при соотношении $КГ : МГ = 3:2$ для расходов бетонных составляющих на 1 м^3 бетона: гальки 1300 кг, леска 734 кг, цемента 280 кг и воды 157 кг. Приведем сравнение гидростроев по расходам цемента, на массивный бетон. Волховстрой массивные части клал не на одной марке бетона. Наружные бетоны были более дорогими. Для массивных частей применялись марки с расходом цемента для тела, плиты 350 и 304 кг/м^3 со средним расходом 310 кг/м^3 , для тела речной стенки шлюза (не работавшей, собственно говоря, на напор) применялись бетоны с расходом цемента 350, 243 и 182 кг/м^3 со средним расходом около 245 кг/м^3 . На Днепрострое и Свирьстрое ответственный гидротехнический бетон, вообще говоря, не дифференцировался. Расход цемента для массивов на, Днепрострое был 285 кг/м^3 , на Свирьстрое 280 кг/м^3 . Упомянем, что на Свирьстрое для понура и рисбермы применялись более дешевые марки. По-видимому для массивных гидротехнических частей, работающих на нагрузку и водонепроницаемость, в качестве минимального расхода цемента на 1 м^3 следует принять расход, близкий к 280 кг/м^3 для данных условий, т. е. инертные до 10 см. отсутствуют мелкопомольные и гидравлические добавки и пр.

Особый интерес представляет укладка, бетона марки № 1 на трассовом цементе в связи с распространенным среди гидротехников недоверием к срокам твердения бетона на трассовом цементе. Подробных лабораторных плотностных исследований не производили. Об опытах с трассовым цементом на выход цемента и на его водонепроницаемость упоминалось нами ранее.

Для быстрых соображений о составе бетона на трассовом цементе произвели опыты на зависимости временного сопротивления R и водоцементу w от содержания песка в инертной смеси r . В качестве примера приводятся кривые на рис. 31, которые относятся к номинальному составу $1 : 8$ и пластичности $d = 7,5 \text{ см}$. Параллельно даны результаты по вибрированному бетону со сплывом $sl = 1,5 \text{ см}$. Данные опытов указали на оптимальное отношение $r = 0,24$. При этом получились максимальные прочности и минимальные водоцементы. Таким образом замечено интересное и весьма важное явление: бетоны на трассовом цементе требуют меньшего содержания песка, чем бетоны на нормальном портланд-цементе, для которых r соответствующими опытами было установлено в пределах 0,35—0,36. Опыты показали, что для бетонов на трассовом цементе с $r = 0,24$ значения водоцементу w оказываются меньше, чем для соответствующих бетонов на портланд-цементе с $r = 0,36$; так например, для бетона с $Q = 280 \text{ кг/м}^3$ $w = 0,50$ вместо 0,56. Таким образом, если трассовый цемент, как это мы видели раньше, характеризуется сравнительно низким предельным значением водоцементу для:

плотного цемкамня ($w' = 0,65$), то с другой стороны, потребность в воде бетонного состава, рационально спроектированного, на трассовом цементе сравнительно мала. В результате можно быть достаточно уверенным за хорошие плотностные свойства цемкамня в бетоне на трассовом цементе; в упомянутом случае с

$$Q = 280 \text{ кг/м}^3 \text{ имеем } \eta = \frac{0,65}{,50} = 1,30. \text{ На}$$

рис. 32 даны кривые нарастания прочности для бетона № 1 на портланд-цементе с расходом цемента $\theta = 280 \text{ кг/м}^3$ и с содержанием песка в 30% и для бетона на трассовом цементе также с расходом цемента

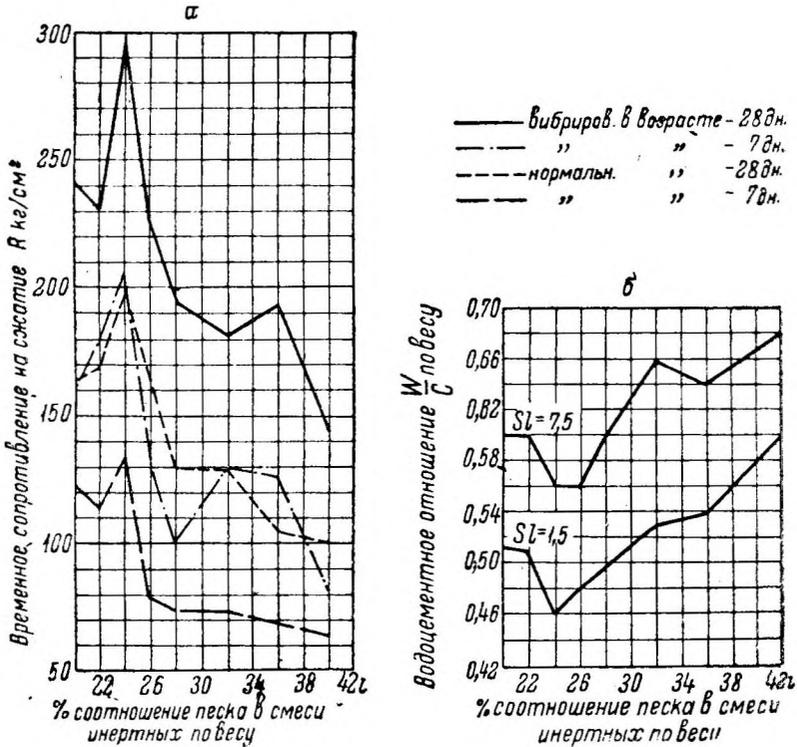


Рис. 31. Зависимости R и w от r для бетонов на трассовом цементе.

250 кг/м³, но с содержанием песка в 24%. Диаграмма прекрасно поясняет, почему гидротехники получают прочности бетона на трассовом цементе в два раза меньше обычного и указывает правильную линию действия в применении трассового цемента. После лабораторных опытов произвели пробную кладку бетона в массивные блоки. На трассовом цементе было забетонировало два блока. Бетон на трассовом цементе с $r = 0,24$ в полном соответствии с вышеприведенными графиками твердел вполне нормально, и блоки были распалублены через 24 часа. Бетонная масса при укладке выказала свойства прекрасного пластичного бетона и укладывалась она легче и проще обычного свирского бетона, марки № 1, причем большое сравнительно количество гальки не замечалось и не вызывало каких-либо затруднений в укладке

Для массивных частей, где нормальная укладка утаптыванием встречала затруднения, был введен состав № 2. Пластичность бетона была усилена до оплыва 12—16 см водоцемент из прочностных соображений был сохранен 0,56, расход цемента был 298 кг/м³. Этот состав весьма пригодился строительству, его стали применять во всех случаях наличия слоев массивов с арматурой. В массивных плитах под основанием сооружений закладывалась арматура, состоявшая из нескольких рядов (трех-четырёх) крупных стержней с расстояниями между прутьями в 8—10 см. В целом ряде случаев, где раньше принуждены были употреблять бетон на мелкой гальке с большим расходом цемента, впоследствии применяли бетон на крупной гальке № 2. Этого бетона уложено около 60 000 м³ и состав № 2 сэкономил

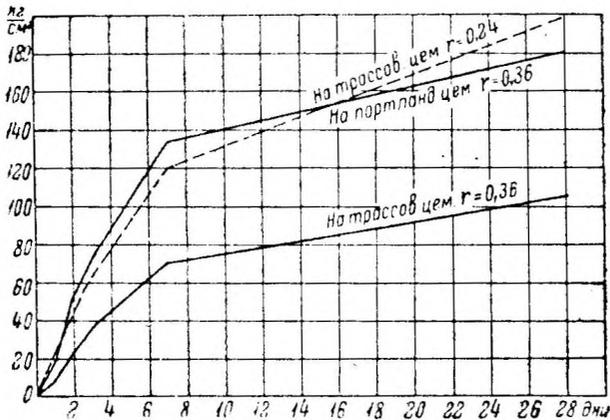


Рис. 32. Кривые нарастания прочностей для бетонов на портландцементе и трассовом цементе.

строительству около 2500—3000 т цемента. На будущих стройках необходимо заранее предвидеть и стараться при производстве работ наибольшее количество армированных массивных частей переводить на укладку бетоном с крупной галькой с несколько повышенной против нормального массивного бетона степенью пластичности. Состав бетона был на 1 м³: цемента — 298 кг, гальки — 1289 кг и песка — 727 кг. Чтобы не нарушать стандартные условия работы бетонного завода, для состава № 2 было сохранено содержание песка 30%. Коэффициент жирности для состава № 2 был $\theta \approx 1,14$.

Вначале постройки применялся бетон № 3 для особо ответственных массивных частей, например для ледорезных частей бычков плотины и для ответственных шпор. Здесь по соображениям прочности и повышенной плотности повышался расход цемента до 358 кг/м³, сплыв задавался 9—12 см и водоцемент 0,47. Впоследствии по забетонировании ледорезных частей состав № 3 был отменен. Уложено бетона всего около 10 000 м³. Поверхностные слои соответственных бетонных частей были армированы, содержание песка сохранено в 36%, коэффициент жирности был $\theta = 1,21$.

В целях уменьшения расхода цемента, для массивных частей, менее ответственных (например, блоки рисбермы), направлялся состав № 4 также на крупной гальке. Коэффициент жирности держался

Данные по составам бетона

Марка бетона	Характеристика бетонизируемых частей	Составная пропорция по весу ²	Расход материалов на 1 м ³ бетона				Силье по большому конусу <i>s</i>	Номинальный состав <i>n</i>	Марка цемента	Род гальки	Водоцемент <i>m</i>	Доля песка в инертной смеси <i>r</i>	Коэффициент плотности цемента <i>γ</i>	Коэффициент жирности <i>β</i>	Временное сопротивление ³⁾	
			Цемент	Песок ²⁾	Галька ²⁾	Вода									<i>R₄</i> кг/см ²	<i>R₂₈</i> кг/см ²
1	Массивные армированные ответственные блоки ¹⁾	1 : 2,62 : 4,64	280	734	1300	157	6—9	7,3 „00“	крупная	0,56	0,36	1,61	1,10—1,12	115	175	
2	Массивные армированные ответственные блоки с затруднениями в укладке	1 : 2,44 : 4,33	298	727	1289	167	12—16	6,8 „00“	„	0,56	0,36	1,61	1,14	114	173	
3	Массивные армированные ответственные блоки. Повышенные требования к свойствам бетона	1 : 1,96 : 3,49	358	703	1247	168	9—12	5,4 „00“	„	0,47	0,36	1,91	1,21	136	209	
4	Массивные слабоармированные малоответственные блоки	1 : 3,22 : 5,27	245 ³⁾	793	1300	152	6—9	8,5 „00“	„	0,62	0,38	1,45	1,02—1,04	101	144	
Зм	Железобетонные части	1 : 2,00 : 2,76	370	785	1085	192	16—22	4,8 „00“ ⁴⁾	мелкая	0,52	0,42	1,73	1,23	136	195	
Зс	Железобетонные части. Повышенные требования к бетону	1 : 1,68 : 2,32	450	757	1045	189	20—24	4,0 „000“	„	0,42	0,42	2,38	1,32	177	231	

¹⁾ Марка № 1 — основная, на нем уложено около $\frac{3}{4}$ бетонной кубатуры.

²⁾ Песок и галька учтены в сухом состоянии.

³⁾ Часть бетона уложена с расходом цемента 180 кг/м³.

⁴⁾ В специальных случаях „000“.

⁵⁾ Контрольные кубики 30X30X30 см. Средний объемный вес кубиков 2,49—2,50 для марок 1, 2, 3 и 4 и 2,45—2,46 для марок Зм и Зс.

около 1,02—1,04. Приводим характерную пропорцию состава № 4: цемента — 245 кг, гальки—1300 кг, песка — 793 кг. Водоцемент был 0,62, опływ 6—9 см. Временное сопротивление получалось в среднем 144 кг/см². Бетона 4 уложено около 60 000 м³. Для состава № 4 увеличили содержание неока до 38%. Практика показала большое значение времени перемешивания для удобообрабатываемости бетонов с уменьшенным содержанием цемента, почему для этих бетонов производили особое наблюдение за установленным временем перемешивания.

Для бетонных кубов, шедших в заброску в земляную перемышку. и для части малоответственных блоков рисбермы и упора применяли состав № 4 с расходом 180 кг/м³ (гальки — 1340 кг, песка — 820 кг). Водоцемент был $w = 0,80$, спływ 6—9 см. Уложено около 15 000 м³. Время перемешивания. 6 минут и в крайнем случае 3 минуты. Временное сопротивление получалось и среднем 95 кг/см², коэффициент жирности равнялся 0,80.

На мелкой гальке шло два состава № 3м и № 3с. Состав № 3м был основным составом для железобетонных частей. Некоторые железобетонные части работали и на водонапор и должны были быть водонепроницаемы. Временное сопротивление через 28 дней требовалось 180 кг/см². Укладка, бетона производилась с применением шуровок. Опływ задавался 10—22 см. По условиям прочности водоцемент был задан 0,52 и расход цемента получился 370 кг/м³ на 20 кг/м³ больше днепростроевского, что можно объяснить сравнительно малой крупностью свирепой мелкой гальки. Коэффициент жирности определился в 1,23. На, 1 м³ бетона расход материалов был таков: цемента — 370 кг, мелкой гальки — 1085 кг и песка — 785 кг. Содержание песка 42%. Состав № 3м шел обычно на цементе «00», в редких же случаях на «000» в целях достижения железобетонной конструкцией щючности в 180 кг/см² в более короткий срок. Бетона № 3м уложено было около 25 000 м³.

Стенки спиральной камеры были сильно армированы и имели толщину 70 см. К бетону стенки спиральной камеры предъявлялись усиленные требования в отношении прочности на разрыв, а именно 20 кг/см². Это требование можно было удовлетворить единственно при применении цемента, «000» и повышенного расхода цемента, Состав бетона был на 1 м³: цемента — 450 кг, мелкой гальки — 1045 кг и песка — 757 кг. Водоцемент был 0,42, содержание песка. — 42%. Коэффициент жирности получался 1,32. Всего было уложено около 5000 м³. Так как бетон стенки претерпел усадку, а по деформациям стенки встречали препятствие со стороны закрепления, то в стенке после возведения ее довольно быстро получились трещины. Эти трещины в стенках закрылись в течение двух недель после пуска воды в спиральную камеру и тени не дают. Возможные причины закрытия трещин — явление самоуплотнения бетона и деформации стенки вследствие разбухания бетона.

Данные по составу бетона сведены в табл. 14.

§ 7. Укладка, пластичного бетона

Обстоятельства укладки бетона определяются родом применяемого бетона. В данном случае идет речь о применении пластичного бетона. Но пластичный бетон может быть нескольких видов и возможны различные способы применения пластичного бетона, На Волховстрое применяли

лопату для разброски бетона по площади бетонируемой секции и пользовались для проработки бетона деревянной трамбовкой. На Днепрострое и Свирьстрое переняли американский опыт и перешли к утаптыванию бетона ногами. Утаптывание ногами имеет ряд преимуществ по сравнению с применением деревянных трамбовок. При утаптывании ногами используется без затруднения вес человеческого тела. Манипулирование тяжелыми трамбовками (погружение трамбовки в бетон и обратное ее вытягивание) чрезвычайно утомительно для рабочего и, невидимому, практически невозможно, если перейти к столь тяжелым трамбовкам, действие которых было бы сравнимо с эффектом ножного утаптывания. Второе важное преимущество ножного утаптывания заключается в возможности без применения лопат распластывания в слой кучи бетона, поданной в блок. Следует отметить, что полноценное применение утаптывания ногами следует связать с осуществлением механизации, позволяющей выгружать порцию бетона в любую точку блока.

При укладке пластичного бетона необходимо соблюдать ряд производственных правил, представление о которых можно составить по инструкциям, изданным крупными гидростройками, а также по некоторым литературным описаниям. Правила эти определяются физическими явлениями, которыми сопровождается укладка бетона. На этой стороне до сих пор останавливались весьма мало и здесь не лишним будет коснуться особенностей укладочных процессов.

Основное свойство пластичного бетона заключается в определенной степени подвижности его частиц. При ударе о жесткий бетон трамбовка совсем или почти совсем не погружается в него. В пластичный бетон трамбовка погружается на заметную величину.

Представим, что на жесткой плоскости бетон рассыпан ровным слоем и в него начинает погружаться трамбовка, что рассыпанный бетон лежит рыхло, т. е. в нем имеются воздушные пустоты, и галька по слою распределена неравномерно. Опускающаяся трамбовка производит такие перемещения в бетонной массе:

1) Часть бетона, находящаяся непосредственно под трамбовкой, уплотняется за счет ликвидации воздушных пустот, в результате чего достигается уплотнение бетонной массы.

2) Часть бетона под трамбовкой вытесняется в бока, причем также происходит уплотнение бетона в данном случае в части слоя вокруг трамбовки.

3) Часть бетона под тяжестью трамбовки опускается вниз и вытесняет соответствующие массы бетона, которые устремляются в бока и даже вверх. При этом происходит естественно также уплотнение соответствующих мест бетона. При продвижении бетонной массы вниз ее составляющие ведут себя различно. В бока будет проникать преимущественно более подвижная масса (раствор), а вниз с большей легкостью пойдут менее подвижные куски, т. е. галька. В частности, нам ясно, что, если галька расположилась большей частью своей площади под трамбовкой, то ей не легко будет выскользнуть в бока.

Указанные передвижения бетонной массы ослабевают в силе параллельно с увеличением степени галечности массы и, если имеется сплошное скопление гальки (галечное гнездо), то трамбовка не в состоянии будет произвести какое-либо заметное перемещение галечных зерен и опуститься в том случае, если трамбовкой бить в центральные части гнезда. При нажатии трамбовкой по краю галечного гнезда появляется возможность опускания трамбовки, так как галька может быть отес-

нена от гнезда, в окружающую массу бетонной «мякоти». Так как в данном случае оттеснение бетонной массы из-под трамбовки вниз невозможно, а в бока — ограничено (невозможно в сторону гнезда), то эффективность действия трамбовки будет ослаблена. Затруднения в обработке галечных скоплений не нуждаются в дальнейших пояснениях.

Трамбовка, вынутая из бетонной массы, оставляет вместо себя цилиндрическую пустоту. Примыкающая к пустоте бетонная масса, устремляется в пустоту сначала под действием давления наружного воздуха и впоследствии, когда в пространство йод трамбовкой прорвется воздух, под действием силы тяжести. При этом галка снова проявляет преимущественную склонность расположиться внизу. Масса, заплывающая в пустоту, уплотнена предыдущим опусканием трамбовки и будет плотнее бетонной массы, находившейся ранее на месте пустоты. В случае вытягивания трамбовки из периферийного слоя галечного гнезда, после того как трамбовка оттеснит в сторону тальку, новая масса, заплывшая в пустоту, окажется более мягкой, так как галка возвратится с некоторой долей раствора,

Итак, в результате одного рабочего цикла трамбовки достигается местное уплотнение бетонной массы, обогащение нижней части слоя галькой и в случае галечного скопления разжижение гальки раствором (иными, словами, повышение степени равномерности бетона в горизонтальной плоскости слоя). Что именно таковы влияния трамбования на (бетон можно доказать длительной проработкой ограниченного участка слоя. В ограниченном участке усиленного трамбования мм получаем наверху равномерную и мягкую массу, а внизу массу, также равномерную, но с усиленным содержанием гальки. Отсюда вытекает понятие об оптимальном периоде трамбования. При меньших периодах мы будем иметь скопления галек и неплотности в бетоне. При увеличении срока трамбования мы получим массу без воздушных пустот, но с сильным разделением материала на вертикали. Первый вариант отхода от оптимального периода, трамбования опаснее. Другими словами, в производственной обстановке лучше перетрамбовать бетонный слой, чем недо-трамбовать.

При извлечении трамбовки заполнение образовавшейся пустоты со средним бетоном происходит не на полную высоту, так как коэффициент внутреннего трения пластичной бетонной массы не равен нулю. На месте погружения трамбовки остается след в виде углубления в 2—5 см. В результате поверхность утрамбованного слоя пластичного бетона отнюдь не представляется в виде ровной горизонтальной поверхности, как это имеет место в случае жестких бетонов, а в виде поверхности, испещренной углублениями. Такой вид верхней поверхности является достоинством пластичного бетона, так как при прочих равных условиях он обеспечивает лучшую связь слоев между собой.

До сих пор мы рассматривали укладку одиночного слоя. Представим теперь, что укладывается второй, третий и последующие слои. Эффект трамбования в основном сохранится прежний, а именно: в результате трамбования будет достигаться уплотнение массы в слое, горизонтальная равномерность слоя и некоторое разделение массы в слое по вертикали. Изменения будут обусловлены новым фактором, а именно тем, что трамбуемый слой будет расположен не на жестком основании, а на пластичной массе. Благодаря этому: 1) процесс опускания галек трамбуемого слоя не встретит препятствия, как это было при наличии жесткого основания слоя, 2) будут облегчены перемещения бетонной

массы относительно нижнего слоя и, вообще, будут облегчены условия проработки бетона.

При трамбовании данного слоя гальки будут опускаться глубже низа этого слоя. Верхние части предыдущего слоя будут обогащаться галькой, поступающей из вновь укладываемого слоя. Вообще говоря, будет происходить некоторое перемешивание бетонных масс обоих соприкасающихся слоев. В результате такого перемешивания не получится никакого заметного разделения массы до высоты блока, что и подтверждается внешним видом распалубленных поверхностей и наблюдениями за видом бетонной массы при пробной разломке бетона, а также надежным и одинаковым сопротивлением бетонной стенки на. водонапор и химические воздействия в тех случаях, когда применяют хороший, правильно спроектированный пластичный состав и когда следят за тщательностью и аккуратностью трамбования.

Толщина укладываемого слоя имеет безусловное значение для хорошей укладки бетона. В отношении толщины слоя существуют такие соображения. С одной стороны, минимальная толщина слоя определяется, по-видимому, размерами тальки, т. е. в данном случае 10 см, с другой стороны, сделаны наблюдения, что при толщине в 30 см слой прорабатывается плохо. Таким образом толщина слоя должна быть 15—20 см. И на Днепрострое и на Свирьстрое толщину слоя назначали в 20 см, как более выгодную с точки зрения производительности и в то же время обеспечивающую добротность укладки.

Указанные выше достоинства пластичного бетона (равномерность бетона по высоте блока и сравнительная легкость обработки бетонной массы) осуществляются при условии сохранения пластичного состояния верхней части предыдущего слоя. Подвижность бетона в верхней части предыдущего слоя при самой хорошей составной пропорции бетона может резко нарушиться с течением времени. Отсюда возникает понятие о предельном сроке перекрытия слоя. По истечении этого предельного срока появляются затруднения в обработке бетона и наступает определенная опасность неудовлетворительной связки между слоями и образования вертикальной неравномерности. На каждой стройке, применительно к местным условиям, необходимо установить значение предельного срока допустимого содержания бетонного слоя без перекрышки следующим слоем и строго выдерживать этот срок. При переходе за предельный срок необходимо приостанавливать бетонировку блока (консервация блока) и разрешать продолжать бетонирование блока через определенный период времени на условиях, которые обязательны при начале бетонирования нового блока (очистка, приемка и пр.). Кроме чисто технического, качественного значения, твердое выполнение правила предельного срока имеет большое производственное значение, так как сохраняет необходимое темповое напряжение у производственного персонала. Консервация блока как-будто и наносит частичный ущерб производительности кладки, так как прерывает бетонировку данного блока, но в то же время консервация бетона, примененная однажды, способна в большой мере в будущем устранить производственную расхлябанность и поднять производительность производственного коллектива в общем. Исчерпывающих исследовательских работ по вопросу, какой срок следует считать в качестве предельного, какая связь между величиной срока и температурой наружного воздуха, скоростью схватывания цемента, не имеется. Практика больших гидростроек устанавливает для этой цели срок в 1—

1,5 часа. В затруднительных случаях прибегают к мерам, сохраняющих:

пластичность бетона более долгий срок. В жаркую и ветреную погоду увеличивали добавку воды (в пределах установленной нормы). При случайной задержке в подаче бетона иногда прибегали к вторичной прокладке по блоку с утаптыванием.

Правило о предельном сроке должно с еще большей строгостью применяться в тех случаях, когда нарушается основная характеристика и ластичного бетона, а именно его пластичность. Такие нарушения имеют место в случае передержки бетона в бадье. И на Днепрострое, и на Свирьстрое производились лабораторные опыты по определению того, как влияет увеличение срока от затворения бетона до набивки образцов. Затворенный бетон с течением времени начинает сильно терять в пластичности. Повторная обработка бетонной массы перед набивкой образцов в состоянии несколько вернуть потерянную пластичность. Механические свойства лабораторных образцов, набитых в течение первых часов, не показывают резкого снижения. В частности временное сопротивление на раздробление, определенное для бетонных кубиков, набитых чрез 4—6 часов после затворения с применением вторичной обработки бетона, оказывалось на 15—20% ниже прочности кубиков, набитых нормальными способами. В полевой обстановке влияние старой бетонной массы сильнее. Падение степени пластичности бетона в большемерной бадье происходит быстрее, чем в лабораторном сравнительно небольшом замесе. Возможности дополнительной проработки большого замеса в производственной обстановке весьма малы. Рабочие, в случае попадания в блок передержанного замеса, стараются чаще всего обойти затруднения, возникающие при укладке такого бетона, путем разброски лопатами замеса ровным слоем по блоку и подачи вслед в то же место определенно пластичного бетона. О таком выходе соглашаться нельзя, тале как здесь нет никакой уверенности за хорошую проработку бетона, и раковины в бетоне неизбежны. Практически весьма затруднительно добиться хорошей укладки для бетона возраста свыше, чем в 1—1,5 часа. Этот срок и принимался в качестве предельного для выдерживания бетона в бадье и на Днепрострое и на Свирьстрое. Этот срок, кстати сказать, вполне согласуется с указаниями ранних изданий советских норм на постройку бетонных и железобетонных сооружений. Последние издания норм почему то данный вопрос обходят молчанием. Любопытно отметить, что предельный срок (1—1,5 часа) меньше срока начала схватывания цемента в стандартных испытаниях (1—3 часа). Передержанный бетон обычно вываливался на свалку. Попытки использования такого бетона для второстепенных надобностей не получили никакого практического значения. Непринятие быстрых мер к опорожнению бадьи с передержанным бетоном приводило к схватыванию бетона в бадье. В таких случаях схватившийся бетон объемом 1,5 м³ приходилось выбивать молотами и зубилами, что являлось и кропотливой и дорогой операцией.

Браковка передержанной бадьи бетона связана практически с потерей целого замеса, стоимость которого около 50—60 руб. Некоторые производственники, забывая про качественную сторону дела, пытаются спасти передержанный бетон путем укладки его в сооружение. Такие производственники обнаруживают при этом неадекватность своих экономических расчетов. Суммарная стоимость уложенного бетона равна стоимости укладки кубатуры нормального бетона плюс стоимость кубатуры с более дорогой укладкой бетона передержанного. Последняя же часть растет с ослаблением строгости браковочных требований, и произ-

водственник, гоняясь за частичным выигрышем, несет большие убытки из-за увеличения числа передержанных бадей, неизбежного при нарушении браковочной системы. Добавим, что предельный срок в 1—15 часа достаточно велик и производственник имеет полную возможность и обязан уложиться в этот срок. На данных обстоятельствах не пришлось бы долго останавливаться, если бы в отношении их не появлялись за последнее время единичные неправильные взгляды.

До сих пор мы рассматривали условие проработку горизонтального слоя бетона, на самом деле бетон в блок попадает в виде кучи, которую и начинают утаптывать рабочие. При погружении ноги рабочего в откос кучи бетон из-под ноги отгесняется, естественно больше книзу откоса, а при вытягивании ноги из бетона в образующуюся пустоту устремляется бетон в большей мере из верхних частей откоса, т. е., другими словами, утаптывание должно сопровождаться не только уплотнением и достижением однородности бетонной массы, но и распластыванием кучи в слой. Другие возможные меры распределения бетонной массы по блоку: осаживание лопатами и раскидка лопатами. К первому способу иногда прибегают неопытные рабочие, но на дальнейшем опыте они убеждаются в меньшей эффективности этого способа. Второй способ является утомительной операцией и приводит к разрыхлению бетонной массы. Раскидка бетона почти неизбежна при проработке бетона деревянными трамбовками и само собой устраняется при ножном утаптывании. При утаптывании бетона ногами лопаты сохраняются, но употребляются в ряде специальных случаев, например для раскидки галечных скоплений по массе бетона.

Коснемся особых обстоятельств укладки пластичного бетона:

1) укладки первого слоя. 2) укладки у стенки и 3) укладки последнего слоя.

Особых обстоятельств укладки первого слоя два.

Во-первых, здесь больше потребность в цементном тесте. Цементному тесту надо смазать не только поверхности инертных, но и поверхность основания. Внутри бетонной массы в клинообразное пространство между двумя гальками заходит третья, и такое расположение галек обуславливает определенную величину междуинертного пространства. В нижнее клинообразное пространство между двумя гальками, лежащими на плоскости, третья галька чаще всего попасть не в состоянии. Поэтому в местах прилегания бетонной массы к плоскости потребность в цементном растворе, я следовательно, и в цементном тесте всегда больше.

Во-вторых, подвижность бетонной массы на жестком основании ограничена. Бетонная масса скользит по жесткому основанию с большим трудом, нежели это слою пластичного бетона. Кроме того, гальки не в состоянии опуститься в старый бетон.

Особые обстоятельства для первого слоя принимаются во внимание следующим образом. Прежде всего бетонирование блока начинается с покрытия бетонного основания цементным тестом (молоком) слоем в 1 — 2 мм. Хорошая смазка инертных цементным тестом достигается в бетонной массе благодаря перемешиванию в бетономешалке, где осуществляется усиленное трение частиц друг о друга. Эффект перемешивания в бетонырке в рассматриваемом случае достигается посредством усиленного протирания проволочными щетками поверхностей, политых молоком. Затруднения в обработке побеждаются большим вниманием к равномерному распределению гальки я к усиленной раскидке галечных

гнезд лопатами, а также выдачей для первого слоя бетона большей пластичности по сравнению с остальными слоями.

Затруднения в укладке бетонной массы у стенки меньше, чем у горизонтальной поверхности старого бетона. В данном случае имеется под укладываемым бетоном пластичная подстилка. Затруднения обусловлены главным образом тем, что при погружении ноги в бетон гальки могут оттесняться: лишь в одну сторону, благодаря чему возможны у стенок раковины. Отвести надежно гальки от стенки можно лишь прорезкой (штыковкой) прямой лопатой с последующей отжимкой бетона от стенки. При этом мягкий бетон огибает лопату и размещается непосредственно у стенки. Штыковку лучше, делать продырявленными лопатами. Кроме прорезки бетона у стенок, следует уменьшать самую возможность галечных скоплений подле стенок, что достигается раскрытием и опорожнением бадей на достаточном удалении от стенок (не ближе 0,75—1 м).

Особое обстоятельство при укладке последнего слоя блока состоит в образовании цементной пленки на нем. Часть воды не осваивается в начальные периоды схватывания бетона, поднимается и начинает выступать сверху блока. При своем подъеме вода увлекает мельчайшие цементные частички и отлагает их наверху. В результате и получается цементная пленка, блестящий налет белого цвета. Эта пленка вредна при бетонировании блока, следующего по высоте. Бетон плохо пристает к цементной пленке, поэтому последнюю необходимо очищать. На Днепрострое старались счищать цементную пленку сейчас же, как бетон затвердеет. так как в это время пленка берется проволочными щетками (через 4—30 часов в зависимости от погоды). На Свирыстрое пленку счищали ударами зубила незадолго до приступа к бетонированию следующего по высоте блока. При ранней очистке пленки на, Свирыстрое «не избежать было бы вторичной сколки верхнего слоя бетона вследствие загрязнения бетонной поверхности мягким грунтом основания сооружений (девонской глиной).

§ 8. Объемные изменения бетона

Среди широких кругов гидротехников в слабой степени распространены сведения в отношении объемных изменений бетона, и роли их в практической задаче. Поэтому здесь необходимо остановиться на некоторых теоретических представлениях и на связанных с ними некоторых производственных обстоятельствах и наблюдениях.

Объемные изменения бетона могут заметно проявлять свое действие в больших бетонных массах, поэтому значение их для гидротехнических сооружений, в порядке правила отличающихся своей массивностью, безусловно. Известно, например, что объемные изменения в больших массивах могут привести к напряжениям, но своей величине значительно превышающим основные расчетные напряжения в сооружении.

Эти объемные изменения, объединяемые, может быть и не совсем удачно, одним словом «усадка», являются в соответствии с современными представлениями результатом трех причин: 1) «собственно усадки», 2) поверхностных натяжений и 3) начального повышения температуры.

Можно легко проделать такой опыт, показывающий действие первых двух причин. Если цементное тесто поместить в стеклянный сосуд (бутылку или мензурку), то через некоторое время сосуд треснет. Если цементный образец освободить от треснувшего стеклянного сосуда, то-

через несколько дней поверхность образца покрывается сеткой трещин. С течением времени появившиеся трещины смыкаются, но следы их остаются.

Объемные изменения первого рода получаются в результате химических процессов, протекающих в цементном тесте (набухание гелей). Эти изменения имеют знак плюс и они разрывают стеклянный сосуд в упомянутом опыте. Объемные изменения первого рода имеют сравнительно небольшие размеры и практическое влияние их на процессы в массивах можно считать незначительным.

Поверхностные натяжения проявляются во внешних слоях массива. Они вызывают сокращение размеров при твердении бетона на воздухе и приращение при твердении в воде. По-видимому причиной их можно считать соответствующие видоизменения состояния голы и может быть, «чисто усадочное явление» но сути дела мало отличается от процессов, характерных для поверхностных натяжений при твердении массива в воде. Сетка трещин на лабораторном образце своим появлением обязана поверхностным натяжениям. Смыкание трещин объясняется усыханием центральных частей образца.

В отношении поверхностных натяжений имеется весьма мало производственных наблюдений. Поэтому определенный интерес должны представить наблюдения Свирьстроа за поверхностными трещинами на бетонных блоках. Трещины из-за усадочных напряжений, имея первоначальную причину в усадке бетона, появляются тем не менее всегда вследствие препон к свободному проявлению усадки. Например, передвижение укорачивающегося массива, встречает препятствие в силах трения о скалу и может привести к вертикальным трещинам в месте примыкания бетона к скале. При поверхностных трещинах укорочение верхнего слоя встречает препятствие в более низких слоях бетона, в которых усадочная энергия проявляется слабее.

В один момент зимней бетонировки было замечено появление трещин на поверхности блоков. Эти трещины были волосные и более широкие «рваные» до 2—3 мм шириной. Располагались они всегда на поверхности и никогда не усматривались на боковой поверхности под опалубкой. На рис. 33 изображена одна из самых сильных трещин (блок плотины № 559). По длине трещины было выколото два колодца, после чего засняли трещину в плане и распространение ее вглубь по поперечным разрезам *AB* и *CD*. Чтобы лучше видеть трещину посредине между колодцами сделали углубление и лили туда тонкие анилиновые краски (чернила), которые обрисовывали трещину четко в плане и вышли на боковые поверхности колодцев. На боковых поверхностях получился узор. Трещина не распространяется только перпендикулярно к поверхности и отнюдь не дает одну плоскость разрыва, она делится по ряду направлений и образует запутанные и извилистые ходы в толще бетона. Оказалось, что наибольшая глубина трещин 11 см. Появление трещин необходимо поставить в связь с произведенным одновременно увеличением порции цемента. Для два по ряду обстоятельств направляли в основные составы бетона увеличенные количества цемента. В составе № 1 вместо 280 кг/м³ было цемента 320 кг/м³, а в составе № 2 порцию цемента с 300 довели до 380 кг/м³. Расходы цемента вернули к прежней норме и тогда прекратились резкие, обращающие на себя внимание случаи трещин на блоках. Единичные трещины малых размеров наблюдались по-прежнему и при зимней бетонировке, и даже при летней. Явления трещин на поверхностях массивных блоков не изучали, по край-

ней мере не приходится встречать соответствующих данных в литературе. Поэтому на Свирьстрое были поставлены систематические наблюдения за верхними поверхностями блоков гт трещинами, появляющимися на них.

Наблюдения происходили с I/VII по 31/VIII 1932 г. и охват ли 50 блоков. Чтобы судить о размерах явления автором было введено понятие о модуле трещин:

$$M = \frac{V_{тр}}{S} \cdot 10^6,$$

где M — модуль трещин. $V_{тр}$ — объем трещин в кубических сантиметрах, S — площадь верхней поверхности в квадратных сантиметрах.

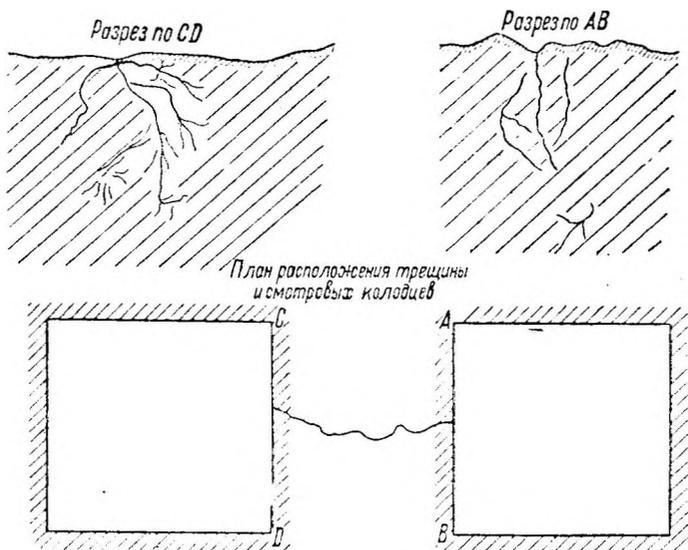


Рис. 33. Поверхностная трещина на блоке плотины № 559.

10^0 — коэффициент, введенный чтобы избавиться от малых значений модуля. Как легко видеть, модуль M отвечает среднему значению высоты объемного ущерба в 0,000001 см, причиняемого трещинами массиву. Из пятидесяти блоков в 15 случаях трещин появилось весьма мало и значения коэффициента трещин были $M < 10$. В среднем по всем блокам модуль трещин оказался равным $M = 200$, что приблизительно отвечает на 1 м^2 100 см трещин средней глубиной 1 см и средней толщиной 0,25 мм. Максимальное значение модуля трещин наблюдалось $M = 3700$. Характерные размеры трещин: 1) длина 5—25 см, ширила до 0,5 мм, глубина 0,5—1,5 см, 2) длина 5—50 см, ширина до 1 мм, глубина, 1,5—2,5 см и 3) длина 40—60 см, ширина до 2 мм и глубина 2,5—3,5 см. При подсчете модуля трещины разбивались на характерные разряды и в каждом разряде замечалось число трещин и средние размеры типовой трещины. Появление трещин в среднем замечалось через 5 часов (2—11 часов). После появления первых трещин замечалось рождение новых. Конец появления трещин определился в среднем в 11 часов (3—24 часов). Помимо указанных трещин замечались часто трещины, которые образуются на горизонтальной поверхности цементного молока.

скапливающегося в углублениях, например в следах от сапог. Это были короткие трещины, часто широкие, но они характерны для цементного молока в углублениях и в массу бетона не проникают. При подсчете модуля трещины цементного теста во внимание не принимались. Эти трещины замечались и в блоках без трещин основного типа. На Самой поверхности блоков замечается блестящий жирный глянec. На этом глянecе собственных трещин не усмотрено совсем. Естественно, трещины основного типа прорезали и глянec. В 33 блоках была применена затирка верхних поверхностей, так как эти поверхности были окончательными. Для блоков с затиркой число блоков с $M < 10$ оказалось 60%, с $M > 10$ — 40%, для блоков без затирки соответственные цифры были 40 и 60%. На основании этих данных можно предположить, что при затирке, при перемешивании верхнего бетонного слоя, сбиваются образующиеся усадочные напряжения, и трещины слегка слабеют в силе. Бетонировка происходила на обычных новороссийских цементах марки «00». За цементами, шедшими на работу, велись наблюдения. Бралась проба из цементных весов на бетонном заводе при укладке последнего слоя блока. Определялся химический состав и механические свойства цемента. Характеристики оказывались нормальными для обычных цементах строительства.

Следили за пластичностью последнего слоя по сплывному конусу и по погружению ноги рабочего. Средние по блоку значения оплывов колебались в пределах 5—22 см. Средняя по блоку глубина погружения ноги рабочего была 6—22,5 см. Зависимости между степенью пластичности и значениями M усмотрено не было. То же действительно и в отношении водоцемента. На табл. 15 показано разделение блоков по расходам цемента.

Таблица 15

Расход цемента в кг/м ³	Число блоков	Среднее M	Примечание
260	13	25	Блоки армированы
280	32	180	
300	2	250	
370	3	1250	
В с р е д н е м			
280	—	200	

Результаты таблицы изображены соответствующей кривой на рис. 34. Велись наблюдения за погодой. Температура была обычной для свирьстроеских июля и августа. В конце периода средние температуры за сутки снизились до 11—12°. Погода была преимущественно ясная, дожди и пасмурные погоды появились в конце периода. Велись наблюдения за поливками блоков и за покрытием их сверху рогожами. Отметки о поливках имеются на 25 блоках, отметка о покрытии рогожами имеется также на 25 блоках. Поливка на блоках, которые поливались в течение первых двух суток, наступала в среднем через 12 часов после конца бетонировки. Рогожи клали в среднем через 8 часов. Никакой

зависимости для M от температур наружного воздуха, а также от состояния погоды и от влажностного режима блоков установить не удалось. Влажностной режим блоков оценивался баллами, смотря по тому, была ли поверхность блока сухой, влажной или залитой водой. Зависимости не раскрылись, видимо, потому, что они были слишком слабы.

Итак в результате наблюдения за 50 блоками удалось установить определенно лишь одну зависимость модуля трещин M от расхода цемента на 1 м^3 бетона и эта зависимость отражена на рис. 34.

Мы видим, что в среднем при расходе цемента 240 кг/м^3 модуль трещин практически равен нулю, при расходах $240—280 \text{ кг/м}^3$ трещины

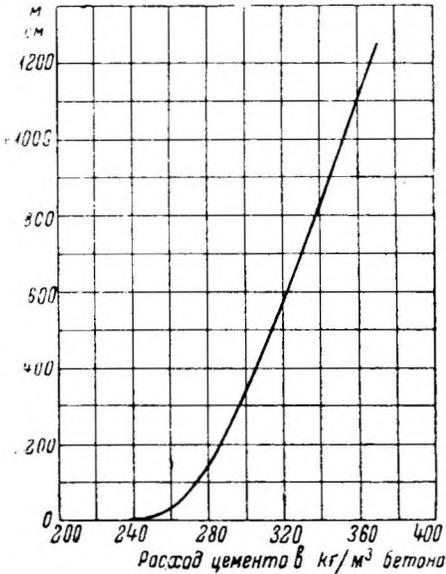


Рис. 34. Зависимость между модулем трещин и расходом цемента на 1 м^3 бетона.

не удавалось. Если верхняя поверхность блока ровная, без штраб, без прямоугольников возвышения или понижения, если сам блок имеет форму прямоугольника, то трещины обладают тенденцией располагаться (рис. 35/1) параллельно короткой стороне. На рис. 35/2 трещины идут перпендикулярно короткой стороне блока, но они расположились не на основной поверхности блока, а на стенообразном выступе высотой 1 м и ориентировались параллельно короткой стороне выступа. Расположение на рис. 35/3 объясняется той же тенденцией.

Усадочные напряжения имеют большую возможность скапливаться параллельно длинной стороне поверхности прямоугольника. Начиная с момента укладки бетона, усадочные напряжения растут, также растет и прочность бетона. В срок, в среднем через 5 часов усадочные напряжения превалируют над прочностью бетона, и бетонная поверхность растрескивается. В срок в среднем через 11 часов прочность бетона становится столь большой, что в состоянии противостоять усадочной энергии, и трещины перестают появляться. Прочность бетона в соответствии с опытами на раздробленно краткосрочных бетонных кубиков через 5 часов и через 11 часов следует признать для данного случая

появляются в малом количестве, а с расхода. $240—280 \text{ кг/м}^3$ трещины быстро растут и для расходов свыше 300 кг/м^3 модуль трещиноватости можно подсчитать по формуле

$$M = 14 (Q - 280).$$

По-видимому при расходах свыше $280—300 \text{ кг/м}^2$ следует рекомендовать более тщательную сколку верхней поверхности.

При наблюдении за блоками производились схематические зарисовки расположения трещин по блоку, их направления и пр. Из рассмотрения этих схем можно подметить следующие особенности явления. В зонах, прилегающих к периметру, трещины никогда не идут параллельно периметру блока, они подходят к краям блока или нормально, или под некоторым углом. На боковых поверхностях по снятии опалубок рассмотреть выход трещин на боковую поверхность никогда

соответственно в 0,8 и 4 кг/см^2 . Эти данные позволяют судить о размерах усадочных напряжений, развивающихся в верхнем слое блоков.

Мы упоминали об основном характере расположения появляющихся трещин. Следует еще указать на некоторую случайность появления трещин. Поясним примерами. На рис. 35/3 в правой части блока появились трещины в определенном порядке, а в левой части трещин совсем нет. На рис. 35/4 нет трещин за исключением одного гнезда, и положение этого гнезда, по-видимому, никак нельзя увязать с видом и размерами площадки. Появление трещин зависит не только от соотношения геометрических размеров блоков, но и от свойств бетонной массы. Где получалось гнездо трещин, туда попала бадья бетонной массы с большей усадочной энергией, протекающей из свойств цемента или из увеличения порции цемента. Последнее явление не исключено в виде возможности засылки в блок бетонной массы более высокой марки.

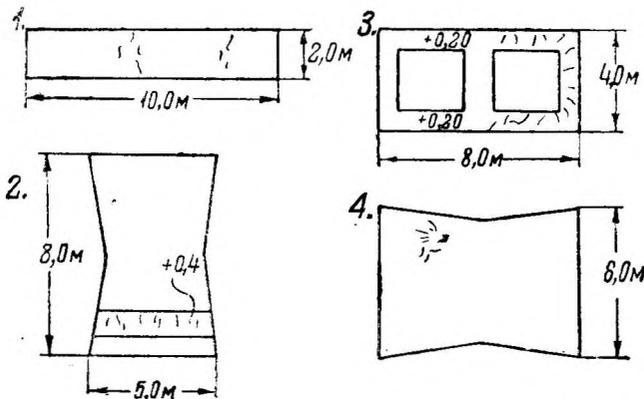


Рис. 35. Схемы распределения поверхностных трещин.

Поверхностные натяжения являются важным фактором объемных изменений в небольших бетонных частях. Из описания свирьстроевских наблюдений за поверхностными трещинами ясно, что некоторое значение поверхностные натяжения имеют и для случая массивных блоков.

Наиболее важным фактором объемных изменений в бетонных массивах в соответствии с современными взглядами являются температурные, а именно изменения, появляющиеся в результате повышения температуры при схватывании цемента и в начальные сроки твердения бетона и в результате последующего остывания массива. По литературным данным период нарастания температуры в бетонном массиве продолжается в основном 3—6 дней и выражается в 15—30°. Согласно свирских наблюдений (см. параграф о весенних и летних блоках в главе четвертой) максимальная температура в центральных точках блоков достигается через 5—8 дней и равна 36°. Начальная температура свежееужоженного бетона была 17°. Следовательно, экзотермическое приращение температуры бетона на Свирьстрое выразилось в 19°. Процесс остывания бетонного массива продолжается годами. Интересно на конкретном примере представить конечный результат этого процесса. Средняя годовая температура наружного воздуха на Свирьстрое равна 3,5°. Таким образом центральные части свирских сооружений должны

как будто бы на протяжении лет остыть с 36 до 3,5° т. е. на 32,5°. Необходимо принять во внимание влияние температуры воды. Средняя температура воды в реке Свири 7°. В соответствии с этим можно предположить, что в центральных частях сооружения устоявшаяся температура будет несколько выше 3,5° и ниже 7° и что в порядке правила через массивы будет ток тепла по направлению от воды к открытым поверхностям сооружений. Нельзя оставить в стороне годовые колебания температуры в бетоне. В соответствии с литературными, данными можно принять, что на самой поверхности бетона изменения температуры бетона, почти повторяют изменения наружной температуры. На глубине 30—50 см они равны 80% годовых колебаний температур воздуха, на глубине 2 м — 35% и на глубине 3,5—4 м — практически ничтожны. Для суждения о годовых колебаниях температур в бетоне сообщаем характерные годовые колебания свирьстроевских температур наружного воздуха и воды, а именно соответственно (—30°) (+30°) и (0°) (+20°). Основной процесс остывания машинных блоков осложняется не только влиянием изменений температур среды. В натуре температурные явления в массивах осложняются очередностью кладки блоков. Сначала имеется только что забетоненный одинокий блок, который охлаждается со всех сторон. Порядок охлаждения изменяется при снятии боковой опалубки. Впоследствии блок окружают прилегающие блоки. Блок отдает тепло сверху по-прежнему, с боков же теплопотери в нем уменьшаются и здесь может быть даже по потеря, а приобретение тепла. Укладка верхнего слоя блоков снова существенно изменяет условия охлаждения нашего блока. Влияние очередности кладки с течением времени должно падать и в известный момент исчезнуть.

Сложная картина объемных изменений в массивах к настоящему времени раскрыта весьма мало. В частности, в малой степени изучены законы распределения температур в массивах, динамика изменения температур. совокупность возникающих в массивах деформаций и напряжений. Но в основном известно, что остывая не массивных сооружений должно сопровождаться объемными изменениями со знаком минус, которые могут привести к значительным растягивающим и скалывающим напряжениям, обусловливающим появление трещин в сооружениях, и случаи появления трещин в бетоне гидротехнических сооружений действительно наблюдались не раз.

Трещины в сооружении нежелательны по двум причинам: 1) они могут существенно нарушить монолитность сооружения, 2) они открывают дорогу фильтрации воды через сооружение. При проектировании гидротехнические сооружения рассчитываются как цельные твердые тела. Внешние, силы приводят к появлению в массивах скалывающих напряжений. Передача скалывающих напряжений при появлении трещин может основательно затрудниться, что в особенности справедливо в отношении трещин, склонных располагаться вертикально и вдоль сооружения (нормально к действующим силам водяного напора). В крайних случаях сооружение может распасться на две параллельных части вдоль продольной оси и тогда способности сооружения противостоять горизонтальным силам будет нанесен серьезный урон. Фильтрация воды через трещины весьма нежелательна, так как трещина при наличии фильтрации легко может стать очагом выщелачивания и разрушения бетона. В крайних случаях трещина может обусловить ощутительную потерю напорной воды.

Каким образом обеспечить водонепроницаемость и необходимую степень монолитности в условиях наличия объемных изменений бетона? До сих пор достаточной и четкой определенности в этом вопросе не имеется. В основном ясно, что борьба против вредных воздействий объемных изменений должна идти по линии: 1) уменьшения размера объемных изменений (применение пуццолановых портланд-цементов и специальных слаботеплотворных цементов, уменьшение расхода цемента на 1 м³ бетона и пр.). 2) по линии соответствующего регулирования процессов остывания (очередность бетонирования бетонных блоков при предоставлении отдельным блокам возможности естественного или искусственного охлаждения) и 3) по пути местного разряжения накопившихся по данному направлению усадочных напряжений (температурные швы).

В двух последних случаях мы встречаемся с задачей разрезки массивов на блоки. Разрезка производится по температурным и блочным швам. Назначение температурных швов, как мы уже сказали, давать разрядку температурным напряжениям в массиве (температурным напряжениям в результате остывания бетона и частично в результате годичного колебания температур). Блочные швы имеют тройное назначение :

1) Производственные условия часто не представляют возможностей сплошного и непрерывного бетонирования участка сооружения между температурными швами и возникает необходимость ведения кладки отдельными блоками. Производственные условия налагают определенные ограничения на величину блоков и обуславливают максимальные размеры блоков. Блочные швы в дополнение к основной температурной разрезке сооружения осуществляют разрезку дополнительную по производственным причинам.

2) Отдельные блоки возводятся в разное время с соблюдением определенного порядка очередности. Поэтому блоки в первое время некоторый срок находятся без бетонного окружения и могут более или менее интенсивно остывать, благодаря чему до момента окончания температурной секции достигается некоторая разрядка усадочных напряжений в отдельных блоках.

3) В законченной части сооружения блочные швы играют в известной мере роль температурных швов и дают также местную разрядку усадочных напряжений. Эта роль для блочных швов ограничена наличием блочных штраб. Работа блочных швов на температурную усадку доказывается тем, что нередко в подходящие моменты против вертикальных блочных пгеов усматриваются трещинки, по положению своему и протяжению в точности отвечающие шву. Такие трещинки шириной 0,1—0,25 мм усматривались например в водопроводных галереях свирепого шлюза во время весеннего осмотра 1936 г.

Температурные и блочные швы являются к сущности трещинами искусственными, сознательно запроектированными инженером в определенных местах массива. Достоинства проектных швов но сравнению со случайными природными трещинами таковы:

1) Вертикальные швы двух соседних горизонтальных слоев задаются с перевязкой. Поэтому в сооружении не может появиться оплошной вертикальный шов на всю высоту сооружения. И вертикальные и горизонтальные швы задаются со штрабами, которые в состоянии в большой мере воспринять передачу скальвающих сил в сооружении. Перевязка швов в данном слое может сыграть определенную роль в во-

просе водонепроницаемости сооружения. Положим блоки расположены большим размером своим в плане параллельно продольной оси сооружения. В таком случае температурная игра вертикальных швов, параллельных оси сооружения, будет меньше, чем для швов перпендикулярных и возможная фильтрация в нивах первого рода будет при равных прочих условиях меньшей. Перевязка же швов в данном слое удлиняет путь фильтрации и вводит в состав пути швы первого рода, т. е. перевязка швов способна уменьшить фильтрацию.

2) При возведении блоков можно предусмотреть установку того или другого типа уплотнения, а также устройств для облегчения последующей цементации. Цементация швов то сравнению с цементацией природных трещин представляет ряд удобств вследствие определенности путей фильтрации.

Несмотря на ряд указанных удобств, никогда не следует забывать, что швы являются трещинами, хотя и организованными, что швам в некоторой степени свойственны недостатки трещин и, большей частью, швы являются наиболее уязвимой частью бетона. Поэтому не напрасно техническими условиями укладки бетона всегда предусматриваются особо строгие правила в отношении бетонирования подле стыков.

На практике затронутые нами вопросы находят выражение в системах разрезов и в способах уплотнения швов. Дадим некоторые свирьстроевские сведения в отношении того и другого. Приведем соображения о плановых размерах блоков.

Площадь блока можно определить в зависимости от предельной интенсивности подачи бетона мотовозами к деррикам и подачи дерриками бадей с бетоном в блок и установленными правилами о предельном сроке между укладками соседних слоев бетона. Срок перекрышки слоя последующим слоем по условиям надлежащей, надежной прочности стыка между слоями принят был при расчете разрезов в 1 час. Производительность деррика, можно принять в 9 бадей или в $13,5 \text{ м}^3$ бетона за час, что при толщине слоя в 20 см обеспечивает площадь блока около 70 м^2 . При двух дерриках площадь блока получается 140 м^2 .

На Свирьстрое в плотине площадь блоков фактически назначалась в 60 м^2 . в случаях двух дерриков — 100 м^2 . Высота блоков принималась в 2,5—3,5 м.

При соображениях о предельной высоте блока на Свирьстрое в качестве одной из исходных цифр принималась высота опалубочного звена. Уменьшение высоты блока признавалось нежелательным, так как тогда не попользуется высота щита и увеличится число блочных стыков (горизонтальных), а, кроме того, при уменьшенной высоте блока при некоторых условиях возможность получения трещин усиливается. Всем известна легкость растрескивания штукатурки. Штукатурку же можно рассматривать как предел блоков малой высоты.

В шлюзе наибольшими плановыми размерами отличались блоки фундаментной плиты камеры: $22,5 \times 3,75 = 85 \text{ м}^2$ при средней высоте 3,3 м (объем около 270 м^3). Блоки второй очереди фундаментной плиты имели размеры $14,5 \times 3,75 = 55 \text{ м}^2$ при средней высоте 2 м и при объеме в 110 м^3 . При производстве работ оба типа блока иногда соединялись в один и получался суммарный блок объемом около 380 м^3 .

Размеры блоков в верхней голове шлюза были: длина в среднем 22 я, ширина 3,7—3,9 м и высота 2,5—3,0 м. средняя кубатура блоков была 250 м^3 . Были блоки в плане и $13,5 \times 5,9$

Длина блоков в нижней голове была не больше 16 м, ширина 2—4 м и высота 3—3,5 м с объемом не больше 200—220 м³.

Попутно отметим, что на Днепрострое нормальные размеры блоков были: высота 4 м, длина на плотине не больше 15 м при объеме 300 м³, длина на шлюзе 8—10 м, объем около 200 м³.

На рис. 36 дан пример разрезки плотины.

На Свирьстрое пытались уменьшать размеры блоков второй очереди (второй очереди в данном горизонтальном слое). Предполагалось, что блоки первой очереди получат в основном усадку к мо-

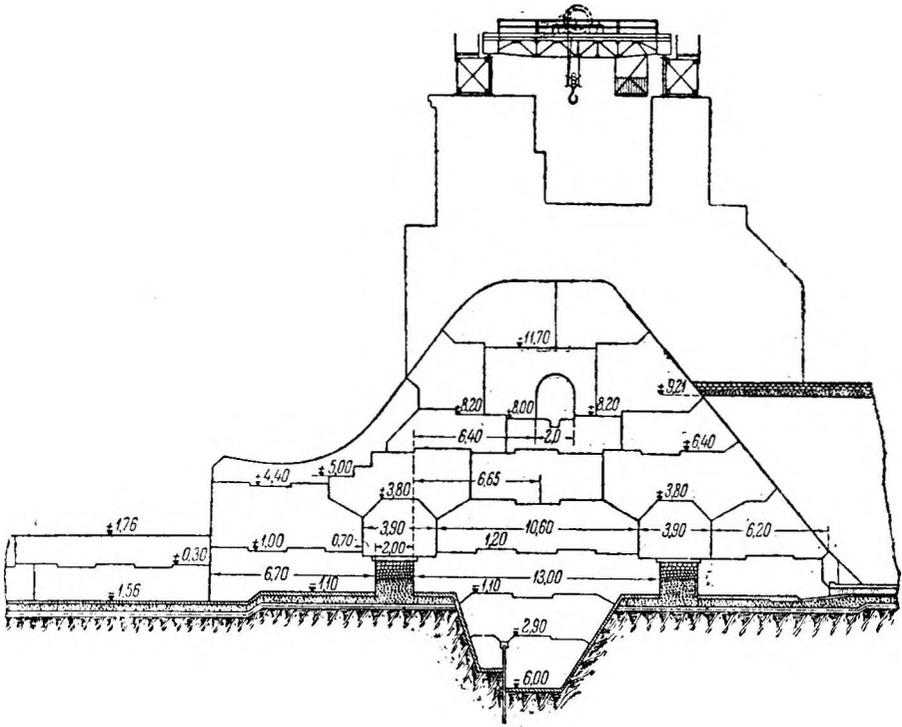


Рис. 36. Разрезка на блоки плотины (правой части).

менту перекрышки промежутков между ними блоками второй очереди, и раскрытие блочных швов обусловится единственно усадкой второочередных мелких блоков, т. е. усадкой небольшой величины. В порядке правила эта мера проведена не была из-за производственных неудобств. Данное мероприятие, кстати сказать, должно было сопровождаться увеличением числа вертикальных швов. По понятным причинам блоки соседних слоев укладывались с соблюдением перевязки швов. Чтобы предохранить блоки от скольжения друг по другу устраивались штрабы (рис. 36). Была мысль в тех же целях использовать фигурное очертание блоков в вертикальном сечении. Например, блокам можно придавать форму в вертикальном сечении в виде буквы Т и Г. Такие очертания блоков были предложены на Днепрострое американской консультацией. Соответствующие блоки на Днепре получили трещины у входящих углов, были признаны нерациональными и на Свирьстрое не употреблялись.

Срок выдержки блоков первой очереди предполагался в две недели. В производственных условиях срок этот часто значительно сокращался и к бетонированию прилегающих блоков приступали раньше.

Разбивка свирских сооружений на блоки вполне себя оправдала и в сооружениях не было трещин по причине усадочных явлений. Крайне редкие случаи появления трещин как будто подтверждают соображения проектировщиков. Например, потолочные блоки над смотровой галереей силовой станции по проекту имели размеры: высота 2,6 м, ширина 7 м и длина 10 м. При попытке соединения и одновременного бетонирования двух таких блоков мы получили трещину поперек посредине двойного увеличенного против проекта блока.

О температурных швах некоторые сведения даны раньше в первой главе. Здесь укажем, что на плотине и силовой станции в качестве уплотнения употреблялись металлические диафрагмы с гудронной шпонкой. Для изготовления диафрагмы был приобретен лист Робертсона (железный лист, покрытый патентованным составом). Для уплотнения температурных швов в камере шлюза употреблялся пенковый канат толщиной 7 см, помещенный в гудронную шпонку. Канат располагался по всему периметру соответствующего поперечного сечения на расстоянии 75 см от наружного края бетона. Кроме того, по шву были проложены 2 листа рубероида, обмазанного битумом. Уплотнение это не предохранило полностью швы от протюкания. По-видимому витой канат, имеющий зубчатое очертание поперечного сечения, не в состоянии был плотно пригнаться к бетону. Навивание бичевы по канавкам каната ощутительной пользы не принесло. Диафрагмы и на плотине и на силовой станции выказали хорошие уплотняющие качества.

Об особых заботах при укладке бетона в местах блочных стыков сказано ранее. Никаких специальных мер к уплотнению блочных швов в общем случае не применяли. Здесь упомянем лишь, что для уплотнения горизонтальных стыков пробовали употреблять доски, которые ставились на ребро и располагались в верхней поверхности заканчивающегося укладкой блока. Верхняя половина доски торчала из бетона и забетонировывалась при укладке соответствующего блока верхнего слоя. Применение подобного уплотнения было вскоре отставлено из опасений разрыва досок вдоль. В некоторых местах производили брусчатое уплотнение блочных швов. По периметру поперечного сечения блока заделывались брусья заподлицо с поверхностью бетона. Поперечное сечение бралось нормальное к направлению напора. При бетонировании четырех прилегающих блоков в них размещались брусья как раз против уплотняющих брусьев нашего блока. При этом предполагалось, что при наличии фильтрации брусья разбухнут и создадут препятствие к прохождению воды по шву. Дополнительный уплотняющий эффект подобных парных брусьев в производственной обстановке не поверялся, но он должен быть безусловным в случае доброкачественной укладки указанных брусьев. Здесь следует упомянуть о трудностях практического осуществления мероприятия (трудности пригонки второго бруса к первому, затекание раствора между первым брусом и опалубкой и пр.).

Рассмотрим вопрос о работе швов на водонепроницаемость. Сначала скажем несколько слов об опытах в механической лаборатории. На рис. 37 дана схема постановки опыта, Сначала бетонировался массив на бетоне марки № 1, к которому через 14 дней прибетонировыв-

палая другой такой же массив. В определенных местах при бетонировании закладывались вертикально деревянные трубки. После того как они вынимались в массивах получались скважины для подачи воды под давлением в 4 ат и для сбора профильтровавшейся воды. Длина пути фильтрации задавалась 15 и 25 см. Длительность опыта была от 24 до 72 часов. Параллельно с опытами на водонепроницаемость производились опыты на прочность бетонного шва при испытании на разрыв (например, рис. 38).

Опыты показали следующее:

1) Размер фильтрации, вообще говоря, был невелик. Возьмем к примеру простой шов, бетон на портланд-цементе «00». Штук изготовлен без какой-либо обработки стыкуемых поверхностей и без специальных каких-либо мер уплотнения. Длина пути фильтрации 15 см.

В возрасте 7 дней два шва дали средний часовой расход 11 см³ с началом фильтрации через 4 часа 30 минут. Швы испытывались вторично в возрасте 2-8 дней. Фильтровал лишь один шов с расходом 3 см³/час и с началом фильтрации через 0 часов. В возрасте 120 дней фильтрации не обнаружилось.

2) Сопротивление шва протеканию получалось больше для шва с болте высоким прочностным сопротивлением. В соответствии с этим можно считать желательным для целен цементации «применять цементы более высоких активностей».

3) Размер фильтраций - падал с увеличением ее длины.

4) Образцы при повторении испытаний с течением времени показывали уменьшение фильтрации и в большинстве случаев фильтрация через несколько десятков дней сходилась на нет. Явление объясняется ростом прочности бетонного стыка с течением времени, а также процессами самоуплотнения.

В практических условиях длины путей фильтрации значительно больше, водонапор меньше и возможности самоуплотнения сохраняются в полной силе. Поэтому на основании опытов следует ожидать хороших результатов для производственных стыков, если стыкуемые блоки сохраняют неизменным расстояния между собой. Такими стыками являются

стыки горизонтальные. В горизонтальных швах в общем случае нельзя ожидать появления сколько-нибудь значительных зазоров, так как вертикальная усадка бетона, должна приводить к опусканию вышележащих блоков без появления зазора.

Поэтому вполне понятно, что при осмотрах массивов, работающих на водонапор, неизменно устанавливалась полноценная работа горизон-

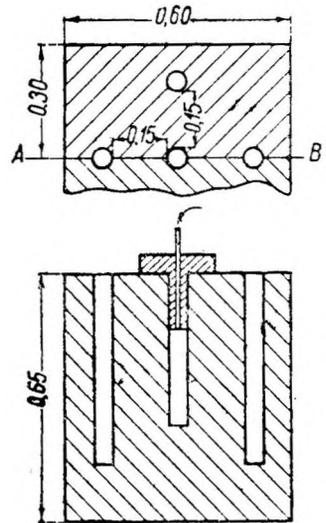


Рис. 37. Схема опыта на водонепроницаемость бетонного шва.

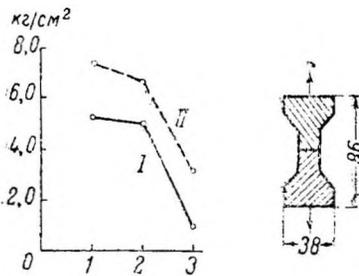


Рис. 38. Опыт на разрыв бетонного стыка.

1 — без шва, 2 — шов с насечкой поверхности и втиранием в нее цементного молока, 3 — шов с насечкой, I — бетон штыкованный, II — бетон вибрированный.

тальных швов. Тем не менее в единичных случаях замечалась фильтрация по горизонтальным швам длиной в несколько метров. Возможные причины к тому две:

1) Под действием горизонтальной составляющей усадки торцевые части блока могут перемещаться по нижележащим блокам по направлению к центру нашего блока. При таком перемещении может быть нанесен урон целостности горизонтального шва. Так как при таких условиях не должно получаться сколько-нибудь значительного зазора, то сохраняются все возможности самоуплотнения бетона.

2) В условиях перевязки вертикальных швов при неравномерной просадке основания под сооружением не избегнута возможность частичного раскрытия горизонтального шва, которое, невидимому, также не может быть значительным. Практика доказала, что фильтрация, возникающая по горизонтальному шву, скоро прекращается сама собой.

Наблюдаемая хорошая работа горизонтальных стыков отнюдь не умаляет всей важности мероприятий, направленных к получению плотного и прочного стыка верхнего блока с нижним. При неаккуратной обработке верхнего слоя нижнего блока или при плохой укладке первого слоя верхнего блока, несомненно, будет иметь место сильная, фильтрация, которая потребует солидных ремонтных мер.

Необходимость прочного горизонтального стыка выясняется, кроме того, в связи с влиянием переменного напора. При переменном напоре горизонтальный шов то находится под напором, то напор снимается, и вода то под давлением проникает в шов, то вытекает из шва при снятии напора. Опытные наблюдения говорят о заметном выщелачивающем действии воды при таких обстоятельствах и при недоброкачественной обработке горизонтального стыка.

Вертикальные швы при прочих равных условиях должны оказаться в худших условиях сравнительно со швами горизонтальными. Здесь на сцену выступает температурная игра зазора и влияние различия в осадках основания под различными частями сооружения.

Наблюдения за работой вертикальных швов в законченных сооружениях дали такие результаты (наблюдения за поверхностями в смотровых галереях плотны и силовой станции и в водопроводных галереях шлюза): швы можно было разделять па три рода. Одни швы совсем не пропускали воды. Другие пропускали воду в той или иной степени, но с течением времени расход фильтрации уменьшался и, наконец, фильтрация прекращалась совсем. Параллельно наблюдавшееся иногда при фильтрации выщелачивание извести также прекращалось. Попутно отметим, что вообще часто совершенно напрасно пугаются начальных выщелачиваний извести. Ни потёки извести, ни даже сталактиты не страшны, если они скоро перестают расти. Третьи швы -протекали заметным образом и через некоторое время после постановки сооружения под водяную нагрузку эти швы пришлось цементировать. Цементация производилась при помощи обычных плунжерных насосов через посредство резиновых шлангов и железных патрубков диаметром вмазанных в отверстие, выбитое в бетоне. Для цементации предпочтительнее насосы с простейшими ходами для воды без каналов, в которых может задерживаться и затвердевать цементное тесто. Цементация давала безусловно ценные результаты, и с течением времени фильтрация заметно уменьшилась. Фильтрация швов в смотровой галерее силовой станции резко упала в силе после цементации и после двух цементаций в преобладающем

числе случаев прекратилась совсем. В единичных случаях фильтрация сохранилась из-за продолжающихся еще осадок, сооружения.

Необходимо иметь в виду одно явление, неправильное толкование, которого может привести к ложным выводам о размерах фильтрации. В части смотровой галереи плотины весной и в подходящие другие моменты потолок покрывается сплошь крупными каплями воды, которые стекают по стенам и каплют на пол. В помещении создается заметная сырость, однако это явление нельзя никак ставить в зависимость от фильтрации. Это попросту обильное оседание на холодном бетоне влаги из теплового наружного воздуха, втекающего в потерну через входную дверь, что доказывается полным отсутствием белых следов выщелачивания и сильным уменьшением сырости при летнем нагревании массы бетона. Сырость такого же происхождения часто наблюдалась в потерне силовой станции. Создавались проекты осушения воздуха в потерне силовой станции, но они были оставлены, так как осушительные устройства оказались дорогими, а вреда для бетона от сырости усмотрено не было.

В водопроводных галереях шлюза было замечено, между прочим, что швы в потолке протекают больше, чем швы в стенках. По-видимому швы блоков, перекрывающие проем над двумя стенками, при осадках расстраиваются больше, чем швы в этих стенках. В частности, здесь могло сказаться то, что потолочные блоки бетонировались на лесах, и бетонированный блок садился на лесах при уже устоявшемся соседнем ранее забетонированном блоке, что привело к расстройству шва. Второе возможное объяснение большей фильтрации через потолочные швы может заключаться в предположении, что нижние части всякого стыка между блоками укладываются хуже из-за стесненности фронта.

Можно было бы думать, что различие в работе швов объясняется различием в размерах соответствующих блоков. Более крупные блоки должны сопровождаться большим зазором швов и большей фильтрацией через швы. Наблюдение не установило заметной разницы в размерах для 'блоков со швами первого и второго рода, с одной стороны, и со швами третьего рода, с другой стороны. В то же время стало ясно влияние разницы в осадках частей сооружений. Например, в камере шлюза большая разница в просадках должна, иметь место вблизи голов и действительно при осмотре и сравнении состояния стенок водопроводных галереи шлюза оказалось общее усиление фильтрационных явлений через швы по направлению от срединных частей галерей к концевым.

Удовлетворительная работа вертикальных блочных швов в свирских сооружениях свидетельствует, по-видимому, о целесообразности применения простых блочных швов без дополнительных специальных уплотняющих устройств для блоков свирских размеров и для напоров, близких по величине к свирскому. В то же время отдельные случаи протекания через швы свирских сооружений, приведшие ок. необходимости цементации. говорят о том, что в будущем необходимо дополнительно продумать особые условия бетонирования массивных блоков в условиях слабых грунтов. По-видимому здесь желательны все мероприятия, способствующие равномерности осадок сооружений. Помимо этого необходимо подумать над изобретением простых и в то же время действительных способов дополнительного уплотнения вертикальных блочных швов, в особенности при коротких путях фильтрации (например, на толщину одного блока). В том случае, если заранее предусматривается цемента-

ция швов, то следует уже в самом проекте предвидеть возможность производства цементации по определенной системе.

В настоящий момент вопрос об объемных изменениях бетона, привлекает особое внимание в связи с появлением стремления к увеличению размеров блока. При больших блоках уменьшается суммарная длина швов, что часто может быть полезным с точки зрения качества сооружений. Самое важное, что увеличение размеров блоков обещает ощутительные экономические и темповые выгоды. В случае больших блоков потребуются меньше затраты времени и средств как на составление рабочих чертежей, так и на производство бетонировки. Данный вопрос приобретает особую важность для Свирьстроя в связи с большими массами бетона, подлежащими укладке на Верхнесвирском сооружении (около полутора миллиона, кубометров).

Скромный багаж теоретических и практических сведений, которым нам до сих пор приходилось пользоваться при решении вопросов разрезки сооружений, совершенно недостаточен в свете новых зданий. Накопленный к настоящему времени лабораторный материал по усадке бетона большей частью имеет малое значение, так как касается лишь ряда вопросов, да и то составлен он по опытам с очень маленькими образцами. За границей настоящему вопросу за последние годы начали придавать большое значение и там в этом отношении предприняты большие изыскания (плотина Баулдер) за ознакомлением с которыми отсылаем к очерку инж. С. Я. Выгодского. У нас весьма лажным следует считать почин Центрального научно-исследовательского института сооружений и Днепростроя. Институтом поставлены большие опыты на Днепре при полном к тому содействии строительства. На Днепрострое осуществлена постановка в одном из поперечных сечений плотины приборов: вертикальных, наклонных и горизонтальных телетензометров, телетермометров и специальных шелемеров. Всего приборов установлено около 200. Следует ожидать, что днепростроевские наблюдения должны дать важные выводы на будущее. На Свирьстрое в связи с постройкой Верхнесвирской установки готовятся к проведению соответствующих полевых (контрольные приборы в сооружениях) и лабораторных (размер экзотермии и пр.) наблюдений, причем надеются полевые наблюдения первого года бетонировки использовать для окончательных суждений о величине блоков для основных масс бетона. Вообще же мы надеемся произвести увеличение размеров блоков в результате следующих мероприятий:

- 1) Усиление производительности механизации подачи бетона в блок (подача транспортерами).
- 2) Применение менее теплотворных цемента (пуццолановых).
- 3) Уменьшение расхода цемента (обогащение инертных).
- 4) Уточнение законов температурных процессов и распределения начальных напряжений в бетонных массивах (вышеуказанные наблюдения) и вытекающие отсюда проектировочные и производственные мероприятия.

Рассмотрением объемных изменений бетона заканчиваем главу об испытаниях и составах бетона. По ходу изложения нами сделан ряд замечаний и пожеланий на будущее. Здесь дадим общее замечание в отношении характера проектирования бетонных составов на наших гидростройках. При подборе бетона большей частью исходят из свойств

инертных материалов, находящихся вблизи стройки, и в то же время имеется весьма мало работ по определению рационального гранулометрического состава инертных. Поэтому к настоящему времени, например, не выяснены полностью роль и значение мелкопомольных добавок, нет определенного мнения в отношении инертной смеси с прерывистой гранулометрией и т. п. Необходимость исследовательской работы в данном случае выявляется, в частности, в связи с готовящимся переходом на применение многофракционных инертных, которые уже давно известны американским стройкам (например, при возведении плотины Гранд-Кули — инертная смесь для бетона составляется из 4 фракций камневидного и 3 фракций песка). Переход на многофракционные инертные обещает усиление равномерностных свойств бетонной массы и экономические выходы благодаря возможной экономии цемента, и детальное обследование вопроса о наивыгоднейшем гранулометрическом составе инертных необходимо включить в программу подготовительных работ к будущим гидростройкам.

Глава IV

УКЛАДКА БЕТОНА В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ

При проектировании зимней бетонировки нам приходится довольствоваться грубыми способами расчетов. Причины тому: сложность соответствующих теплотехнических расчетов и малая изученность соответствующих физических процессов и, что самое важное, физических процессов как раз в том самом виде, как они протекают в производственной обстановке.

В каждом мало-мальски крупном случае зимних бетонных работ необходимы всесторонние наблюдения за различными сторонами дела с последующей обработкой и систематизацией полевых данных. Только идя по такому пути, мы приблизим теорию к фактическому явлению и уточним расчетную схему, что позволит нам добиться экономических выгод на последующих стройках.

На Свирьстрое за прошедшие годы проведены наиболее крупные в СССР бетонировки в холодное время. В месяцы со средней температурой ниже 0° уложено свыше 100 000 m^3 а в месяцы со средней температурой $+4$ и ниже уложено свыше 226 000 m^3 бетона.

При бетонировании зимой на Свирьстрое (проведены были многочисленные систематические наблюдения. Эти наблюдения в основном преследовали контрольные цели, но их представляется возможным подвергнуть соответствующей обработке и систематизации и на основе их прийти к ряду выводов. Вследствие потребности дополнить технические рассуждения данными полевых наблюдений описание обстоятельств зимней бетонировки на Свирьстрое и представление результатов обработки одной из первых попыток систематического изучения производственного явления должны вызвать к себе определенный интерес.

Зимняя бетонировка на Свирьстрое производилась в тепляках, но преобладающая масса зимней кубатуры уложена бестепляковыми способами. Некоторый опыт получен на Свирьстрое при бетонировании массивов с применением электропрогрева.

Понятие о движении температуры в течение года на Свирьстрое можно получить из табл. 16, составленной по наблюдениям местной

Таблица 16

Температуры (по месяцам) средние, максимальные и минимальные

Температуры	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	За год
Среднемесячная температура за 5 лет	7,0	-12,9	-6,5	1,6	10,8	14,1	18,7	16,1	9,0	4,3	0,5	4,9	+ 3,6
Максимум в данном месяце за 5 лет	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+ 35,0
Минимум в данном месяце за 5 лет	-32,5	-42,6	-33,5	-21,1	-6,0	-2,2	5,1	0,1	-2,8	-8,5	-17,6	-34,0	-42,6

метеорологической станции за 5 лет (1929—1933 г.) и содержащей в себе температурные максимумы и минимумы, а также среднемесячные температуры.

Как видно из таблицы, только два месяца без отрицательных температур, это — июль и август.

§ 1. Организационная сторона дела

Вопрос о бестепляковых способах бетонировки впервые перед строительством встал перед началом зимнего сезона 1931—1932 г. Этот момент совпал с настоятельной необходимостью развития строительных темпов.

Предстояло прежде всего решить коренной вопрос: базироваться ли при производственных предположениях в основном на тепляках или же держать курс на бестепляковые способы. Персоналу строительства, не впервые пришлось столкнуться с вопросами зимней бетонировки. Зимняя бетонировка была на стройке в предыдущую зиму 1930—1931 г. Часть сотрудников принесла с собой опыт Волховстроя, Кондостроя и Днепростроя. Строительство располагало полными данными, чтобы судить о достоинствах и недостатках тепляков. Волховстроя, как известно, был в большей своей части построен по ряду причин в зимнее время, и вся зимняя кладка, была проведена в тепляках. Отдельные тепляки достигали солидных размеров. Два тепляка на плотине были общей кубатурой 80 000 м³. В то время не возникало и мысли о какой-либо ликвидации теплякового порядка. И на Волховстрое часто укладывали бетон в тепляках при таких условиях, которые нам в настоящее время кажутся безупречными в смысле возможности применения бестепляковой кладки.

На Свирьстрое за 1930—1931 г. уложено было около 30 000 м³ в зимнее время и в тепляках. Часть тепляков не была использована, так как окончание их постройки совпало с потеплением погоды. Подобные случаи неиспользования больших тепляков не

редки. Объемный коэффициент тепляков, т. е. отношение кубатур тепляков и бетона, равнялся примерно 2. Стоимость тепляков с отопительным оборудованием была всего около 210 000 руб., содержание тепляков с отоплением вылилось в сумме около 90 000 руб. и дополнительные расходы по тепляковым работам легли суммой около 10 руб. на 1 м³ бетона. Отопление везде было паровое. Температура с трудом поддерживалась выше 0°. За среднюю температуру можно принять цифру + 1°. Необходимо отметить, что в определенной степени применение тепляков было вынужденным. Производились земляные работы, и на подготовленное соответствующим образом глиняное основание клался первый слой бетона. Подмораживание Глиняного грунта испортило бы его и сделало бы его непригодным в качестве основания под бетон. Поэтому все тепляки, правда на неполную их высоту, были необходимы по требованию земляных работ. На основании опыта зимы 1930—1931 г. выяснились следующие недостатки тепляков:

- 1) громоздкость вспомогательных сооружений;
- 2) выключение из производства бетонных работ данного участка на время сооружения тепляка и в связи с этим потеря темпов;
- 3) дороговизна работ по постройке и эксплуатации;
- 4) усиленная потребность в плотниках, лесоматериалах, гвоздях и пр. и связанные с этим затруднения при недостатке рабсилы и напряженном положении с материалами;
- 5) затруднения с транспортированием и укладкой длинных прутьев свирок арматуры;
- 6) затруднения с подачей бетона, габаритные ограничения в работе дерриков, необходимость в дополнительных лотках, в развозке бетона тачками и пр.;
- 7) значительные потери в темпах в связи с указанными транспортными затруднениями;
- 8) значительные затруднения при отоплении высоких и больших зданий;
- 9) усиление пожарной опасности.

Строительство составило схему тепляковых работ на предстоящий 1931—1932 г. Оказалось, что общая кубатура тепляков должна быть около 220 000 м³ и стоимость тепляков выльется в весьма солидную цифру, превышающую 1 000 000 руб. Размеры получившихся цифр заставили задуматься над ними и, самое важное, на сцену выступили решающие темповые соображения. На основании учета прошлогодних затруднений и на основании анализа, предстоящих работ стало совершенно ясно, что при принципиальной установке на тепляки плана до конца года не выполнить. Достаточно упомянуть, что при тепляковом варианте предполагалась остановка бетонных работ на один месяц с сосредоточением рабсилы на постройке намечавшихся больших тепляков. Порядок, введенный в начале сезона, имеет большое значение в смысле утверждения определенной производственной рутины, так что необходимо было бы считаться с тепляками до конца зимы со всеми вытекающими отсюда последствиями. Таким образом строительство пришло к мысли о необходимости пойти на более или менее решительное применение бестепляковых способов работы.

Став на путь бестепляковой кладки, строительство сразу встретилось с рядом неясностей. Имевшиеся опыты говорили, что бетонировка на морозе может происходить и без тепляков и что вообще бетонировка

зимой связана с некоторой опасностью понижений свойств бетона и что теми или другими мерами эту опасность можно свести к практически ничтожной величине и для случая бестепляковой кладки. Были известны все основные теоретические положения о законах твердения бетона при низких температурах. В то же время никаких точных и вполне ясных, определенных указаний на порядок работы применительно к случаю больших гидротехнических сооружений не нашлось. В распоряжении строительства не было данных, конкретных и точно проверенных хороших результатов мероприятия, проведенного на какой-либо большой гидротехнической стройке в условиях массовых бетонировок. Обращение к литературным источникам оказало малую помощь. Из ознакомления, в частности, с американскими источниками не удалось выяснить толком, как была построена организация работ, какими определенными требованиями руководился организатор и как он наблюдал за выполнением этих требований.

Поэтому было решено бетонировку без тепляков начать немедленно, приняв к руководству ряд инструктивных температур, и первые недели слабых похолоданий использовать для наблюдений, которые позволили бы уточнить чисто технические и организационные требования. Опытный период бетонировки дал все основания для разработки вполне определенной и подробной инструкции и указал на ряд непроработанных производственных деталей, с которыми приходится встречаться в данных условиях. Укажем к примеру на влияние старого бетона ранее уложенных блоков. Охлаждающее действие старого бетона, хотя бы и отогретого непосредственно перед началом укладки нового, примыкающего к нему блока, сначала не предусматривалось и только наблюдение за температурным режимом свежеложенного бетона, указало на эту деталь.

Наличие детальной и предусматривающей все стороны дела инструкции имело безусловно весьма важное организационное значение. В основу производства работ в зимнее время без тепляков положен был твердый принцип индивидуального но каждому блоку наблюдения и регулирования тепловой защиты блока. Наблюдательские и контрольные функции были поручены специальной организации, а именно полевой группе при бетонном хозяйстве. Изъятие полевых наблюдений из круга обязанностей производителя работ имело большое значение и дало целый ряд осязательных выгод. Производитель работ, будучи загружен большой оперативной работой, никогда не сможет уделить надлежащего внимания специальным наблюдениям. При наличии ряда производителей работ трудно соблюсти требования одинаковой постановки дела и трудно систематизировать наблюдательский материал. Мы уже не говорим о том, что в психологии прораба довлеют темповые и чисто-производственные соображения и прораб невольно может предпочесть жесткость качественной заботы производственным тенденциям.

Полевая группа возглавлялась старшим инженером и имела к составу своем несколько техников, десятников. Количество сотрудников в полевой группе доходило до 30 человек и один работник полевой группы приходился на 25—30 м³ суточной кладки бетона.

На рис. 39 приведена форма рапортки бетонной инспекции (рапортка укладки бетона). Представители бетонной инспекции следили за обстоятельствами высококачественной укладки бетона в массивы и одновременно вели ряд наблюдений в связи с обстоятельствами зимней бетонировки. В рапортку вносились результаты наблюдений за тем-

пературами, производившихся непрерывно одновременно с бетонировкой. Наблюдения записывались в рапортичку через каждые 2 часа. Температуры замерялись в бетонном слое непосредственно перед перекрытием его следующим бетонным слоем. Измерялась температура наружного воздуха. В тех случаях, когда имелся тепляк или шатер, бралась

С В И Р Ъ С Т Р О Й
Б Е Т О Н Н А Я И Н С П Е К Ц И Я
РАПОРТИЧКА УКЛАДКИ БЕТОНА

Участок:

Блок №..... ярус

Начало бетонирования :

Часы наблюдений	Т° воздуха		Т° бетона	Часы наблюдений	Т° воздуха		Т° бетона
	Нар.	Тепл. и шат.			Нар.	Тепл. и шат.	

Конец бетонирования :

Инспектор:

Примечания на обороте:
(сведения о температуре постели прилегающих бетонных стенок и пр.)

Рис. 39. Рапортичка укладки бетона.

температура воздуха в них. В рапортичку помещались сведения о температурах постели блока и прилегающих стенок старого бетона. Последние сведения имелись у бетонной инспекции, так как она вела наблюдения за этими температурами и не давала разрешения на приступ к бетонировке без убеждения выполнения соответствующих инструктивных требований к температурам старого бетона.

Во время бетонирования представители нолевой группы зимнего бетонирования готовили снаряжение температурных пикетов. Сна-

ряжение это показано на рис. 40. В качестве пикетов употреблялись трубки из толя или рубероида и деревянные клинья длиной в 0,3 и 1,0 м. На нижний конец трубки надевался металлический стакан, куда и наливалась вода. Диаметр трубок был в среднем 5 см.

Перед концом бетонирования блока трубки втыкались в свежееуженную массу так, чтобы верхний край трубки по окончании бетонирования выходил из бетона на 2—3 см в целях предохранения трубки от засорения и заливки водой. После установки трубка с деревянным стержнем оставалась в бетоне 6—8 часов, после чего производилось первое измерение температуры. Деревянный стержень вынимался и в трубку на шнурке опускался термометр, который и выдерживался в трубке 3—4 минуты. Во время измерения трубка сверху прикрывалась от охлаждения.

В качестве термометра применялся обыкновенный так называемый химический термометр Гослаборснабжения (деления от -15 до $+110^{\circ}$),

практически оказавшийся наиболее удобным. Термометры легко бились, хотя и хранились в жестких футлярах, поэтому их необходимо приобрести до приступа к зимним работам в достаточном количестве.

После первого измерения в трубке на дно ее наливалась вода с расчетом получить слой в 3—4 см. Вода в стакане принимала температуру окружающей бетонной массы, что давало возможность более точного измерения температуры данного слоя бетона.

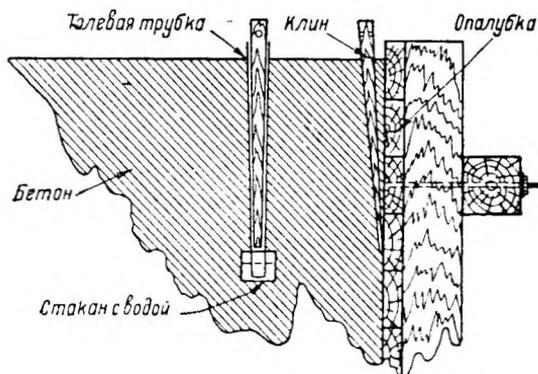


Рис. 40. Разрез блока с температурными пикетами (трубка и клин).

Деревянные клинья длиной также в 0,3 и 1,0 м имели сечение сверху 5 X 2 см и внизу 2 X 0,5 см. Клинья устанавливались у опалубки и предварительно смазывались тавотом на глубину их погружения в бетон. При установке наблюдали, чтобы верхний конец отстоял от опалубки на 2—3 см, а нижний конец или упирался в опалубку, или не доходил до нее на 1—2 см. Таким образом клин стоял с легким уклоном. Если в месте установки клипа была боковая поверхность не блочной, а окончательной наружной гранью, то клинья ставили с более сильным уклоном и верхняя часть отходила от опалубки на 10—12 см.

Температура на поверхности бетона измерялась путем вкладывания термометра непосредственно между бетоном и укрытием, т. е. иод матом или опилками и т. д. Если на поверхности имелась вода, то рекомендовалось опускать термометр в эту воду.

Расположение пикетов на новых блоках задавалось заранее. Впоследствии в большинстве случаев расположение определялось на месте полевым персоналом, и только к особым случаям вопрос решался заранее камеральным техником. При установке руководились следующими соображениями. Прежде всего устанавливались клинья в наиболее опасных местах, т. е. в обычных блоках прямоугольной формы в углах. Клин ставился не в самом углу, а на расстоянии 0,30 м от угла, в на-

чале наблюдений вместо клиньев применяли окошечки, которые прорубали в опалубке. Но ряду причин окошечко неудобно делать у самого угла и его делали на расстоянии от угла около 0,30 м. Впоследствии, когда перешли на клинья, их ставили там же, чтобы не нарушать системы. Хотя температуры бетона у самого угла и на расстоянии 0,30 м от угла разнятся и немного, тем не менее установку угловых клиньев следует передвинуть ближе к углу. В блоках не прямоугольных, а более сложного сечения пикеты ставились в соответствующих опасных местах: в тонких стенках, у консолей, в местах излома в плане и т. п. Кроме этих пикетов, совершенно необходимых с производственной точки зрения, ставился ряд пикетов дополнительных. Эти дополнительные пикеты частично контролировали и дополняли контрольную работу основных пикетов, а частично являлись материалом для будущих заключений о распределении температур по блоку. Такими пикетами чаще всего являлся клин 1,0 м на расстоянии 0,40 м от угла, трубка 1,0 м в центре, трубка 0,3 м в диагонали блока, на расстоянии 0,30 м от угла, трубка 0,3 м в центре и пр. Если в блоке имелись места с одинаковым геометрическим значением, но в различных физических условиях, например, два противоположных угла в прямоугольнике, причем один угол в опалубке, а другой в старом бетоне, тогда контрольные точки повторялись в обязательном порядке. Против каждого пикета измерялась температура поверхности. На будущих стройках следует обратить внимание на постановку температурных пикетов в опасных местах в нижнем слое блоков. Единичные наблюдения на Свирьстрое свидетельствовали, что в обычных условиях они не в худшем положении по сравнению с верхними. Тем не менее на будущих постройках следует поставить систематическое наблюдение и за нижним слоем блока. Наблюдательную центральную трубку следует ставить не на глубине в 1,0 м, а в центре блока, тогда этот пикет будет иметь особое значение и даст представление о ходе температур в наиболее теплой точке.

Каждый взятый под наблюдение блок зарисовывался схематически с указанием расположения температурных пикетов полевым наблюдателем, производившим установку пикетов. На чертеже фиксировалась геометрическая форма блоков, указывались основные размеры блока в плане, его высота, кубатура, тип опалубки, род верхнего Укрытия и отепления, по возможности возраст прилегающего старого бетона, марка уложенного бетона, температура бетона при укладке, температура наружного воздуха в момент окончания бетонирования. Схематический чертеж подписывался полевым наблюдателем и сдавался в контору полевой группы, где на основании имевшихся материалов вычерчивался точный чертеж блока с расположением температурных точек.

Обмеры температур заносились в особую рапортничку. Опыт показал, что систематичность записей «в решающей степени зависит от наличия установленной формы для полевых записей и от предусмотрения в этой форме всех необходимых обстоятельств. На рис. 41 приводится форма рапортнички полевой группы по записи обстоятельств твердения блока. На первой страничке рапортнички заносились основные сведения о температурах в пикетах. На оборотной стороне в соответствующих графах заносились все сведения о тепловом режиме блока: тепличный блок или бестепличный, род опалубки и верхнего укрытия, отметки об обогреве, изменения в тепловой защите, отметки о снятии опалубки и пр.

Рапортнички сдавались в контору, где на основании их для каждого блока велся график изменения температур наружного воздуха по всем

пикетам. В случае нежелательного понижения температур в бетоне рапортичка предъявлялась производителю работ под расписку в качестве предупреждения и на предмет принятия соответствующих мер усиления пассивной теплозащиты блока или приступа к подогреву паром.

На обязанности работников полевой группы лежало наблюдение за полевыми кубиками, которые набивались механической лабораторией на каждом блоке. Кубики хранились в деревянных формах. Представители полевой группы следили, чтобы температурные условия, в которых находились кубики, по возможности ближе были к температурным условиям наиболее опасных мест в блоке, т. е. в порядке правила, в угловых

СВИРЬСТРОЙ ПОЛЕВАЯ ГРУППА Б. Х.

Блок №..... уч..... отм.....

Наблюдение „.....“ 193 г. Зabetонирован „.....“ Возраст бет..... дней.

Смена	Часы	Т° воздуха			№ и глубина пикета								Подпись наблюдателя				
		Н-р	руж.	Тепл.	№		По-верх.		№		По-верх.			№		По-верх.	
					№	По-верх.	№	По-верх.	№	По-верх.	№	По-верх.					
1																	
2																	
3																	

Предупреждение прорабу о принятии мер тепловой защиты

Читал прораб:

Рис. 41. Рапортичка твердения бетона.

частях блока, кубики должны быть укрыты матами и опилками в случае наличия такого верхнего укрытия. Опыт покапал необходимость охраны кубиков, осуществляемой лицами, близкими к контрольной деятельности. Иначе на участках кубики начинают растаскиваться с блоков и пользоваться в качестве подпорок, стоек и пр.

Основным камеральным документом являлась ведомость (рис. 42). В ведомость набело переписывались в соответствующие графы все полевые наблюдения, помещались все результаты обработки, которая производилась над полевыми данными: средняя температура в пикетах за 2, 10 дней и пр. На первой странице была сделана боковая графировка на клеточки. Эта графировка очень пригодилась при обработке, в ней помещались характерные данные по блоку и, что важно, в определенном для каждого блока месте. Таким образом их легко было отыскивать. Например, схематический планчик в малом масштабе с показанием формы блока в плане, характерных размеров в плане, условных обозначений опалубки и расположения пикетов всегда помещался в верхней левой клетке. Благодаря такому расположению материала всегда можно было подобрать при обработке блоки одинаковой формы в плане или

СВИРЬСТРОЙ

БЕТОННОЕ ХОЗЯЙСТВО
Полевая группа по зимнему бетонированию

ВЕДОМОСТЬ

укладки и твердения бетона на участке.....
блок №..... слоя.....

..... 193 г.

Участок.....										Блок №.....									
Время забетонирования: начало „.....“ „.....“ окончание „.....“																			
Температура через 2 часа	Воздух		Наружн.																
			Тепляк																
	Б е т о н																		
Мес. число	Возраст бет. в днях	Темп. воздуха		Температура точки															
		Н.	Т.	№ Поверхн.	№ Поверхн.	№ Поверхн.	№ Поверхн.	№ Поверхн.	№ Поверхн.	№ Поверхн.	№ Поверхн.								
	1																		
	2																		
	3																		
	4																		
	5																		
	6																		
	7																		
	8																		
	9																		
	10																		

Ст. инженер;

Ст. техник;

Рис. 42. Ведомость укладки и твердения бетона.

одинаковые по другому какому-либо признаку. В соответствующих клетках помещались сведения: схематический план, высота блока, схематический вертикальный разрез блока, схематический чертеж верхнего укрытия, изменения верхнего укрытия по дням, применение активной теплозащиты, условное обозначение типа опалубки, площадь верхней поверхности, боковой поверхности в опалубке, боковой поверхности в старом бетоне, суммарной охлаждающейся поверхности, объем блока, коэффициент бетон ногги, модуль поверхности, средняя температура постели перед бетонировкой, средняя температура укладки бетону температура наружного воздуха, тепляка и татра при укладке, продолжительность бетонировки, временное сопротивление блочных кубиков, марка, бетона, род цемента.

Ведомость была сделана на плотной бумаге и служила папкой-делом для всех полевых и камеральных документов. В ней хранились рапортчики укладки бетона, все рапортчики температурных наблюдений за блоком, полевой чертеж блока, камеральный чертеж и график изменения температур наружного воздуха и пикетов по дням. Такой способ хранения документов оказался удобным и позволял через большие сроки по разным надобностям получать исчерпывающие данные по блоку.

§ 2. Коэффициенты теплопотери

В зимней бетонировке важное значение имеют тепловые потери бетонной массы. Особо необходимо выделить в соответствии с расчетными принципами теплопотери, имеющие место до начала экзотермического процесса. Для этих теплопотерь на основе соответствующих теплотехнических соображений можно получить теоретические значения. Но весьма важно было бы использовать полевые наблюдения и извлечь из них представление о фактических теплопотерях, имеющих место в производственной обстановке. Такое представление никогда не удавалось получить путем простого сопоставления отдельных абсолютных значений исходных и конечных температур бетонной массы и нам удалось подойти к решению вопроса, введением относительного измерителя в виде коэффициента теплопотери. При этом мы исходили из предположения о пропорциональности теплопотерь перепадам температур. Обоснование этого предположения можно найти в простейшей аналогии остывания стенки. Мы построили кривые остывания одной и той же стенки в двух случаях. Один случай изображен на рис. из. Начальная температура стенки $+9^{\circ}$, наружная температура -11° , т. е. перепад равен 20° . Второй случай не изображен и касается перепада в 40° . Мы имеем возможность для любого срока, подсчитать потерю тепла и выразить ее в частях от первоначального перепада температур. На рис. 43 построены кривые относительных потерь тепла для обоих случаев стенки для разных со точек. Мы видим кривые относительных теплопотерь, иначе говоря, кривые коэффициентов теплопотерь совпали для периферийной точки, для глубинной точки кривые вначале совпадают, но впоследствии начинают расходиться. Таким образом принцип постоянства, значений коэффициента теплопотери можно с большим правом применить к практической задаче в начальные сроки остывания и для периферийных слоев бетона,

При переходе к производственной задаче рассмотрим блоки трех родов теплозащиты (см. схемы на рис. 44): 1) тепличные, 2) шатровые и 3) открытые. Теплячные блоки находились в массивных тепляках с па-

ровым отоплением. К применению тепляков строительство вынуждалось требованиями не допускать промерзания глинистых оснований (девона). В тепляках производили выемку последних слоев грунта и в дальнейшем тепляки служили для укладки нижних бетонных массивов. При

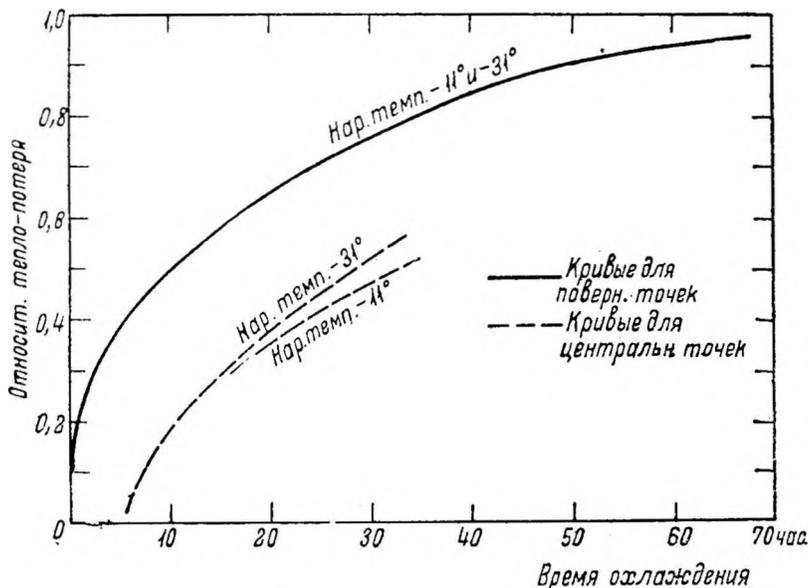


Рис. 43. Кривые относительных потерь тепла для бетонной стенки толщиной 40 см.

укладке бетона и кровле тепляка открывались специальные люки для пропуска бадей с бетоном. Теплячные блоки во время твердения с боков и сверху окружены были теплым тепличным воздухом. При укладке же свежее укладываемый бетон подвергался некоторому воздействию наружных температур через люки.

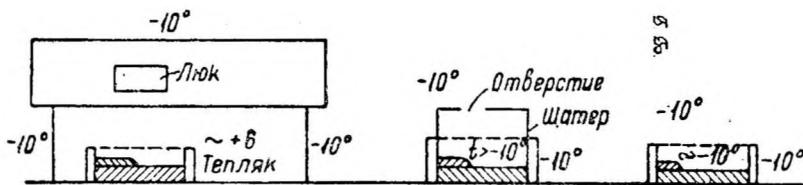


Рис. 44. Схемы трех родов теплозащиты блоков (топляк, шатровый блок, открытый блок).

Шатровые блоки защищались от действия мороза с боков как при твердении, так и при укладке только опалубкой того или другого типа. Боковая опалубка была продолжена вверх и образовывала над блоком шатер с кровлей из толя по дюймовым доскам или из брезента. Опалубка вверх наращивалась в виде одиночной стенки из досок в 2,5 или 4 см.

Шатер обеспечивал целый ряд практических удобств:

1) При помощи печки-временки или труб парового отопления или при помощи пропаривания из шланга под защитой шатра легко спра-

влялись с обогревом бетонного ложа и бетонных стенок прилегающих блоков.

2) Шатер, хотя частично и раскрывался в целях пропуска бадьи, тем не менее хорошо защищал рабочих от ветра.

3) Шатер уменьшал теплопотери при укладке, хотя и в меньшей степени, чем благоустроенный тепляк.

4) При шатре легко справлялись с обогревом арматуры и не боялись промерзания и обледенения торчащих из бетона стержней.

5) После укладки бетона шатер представлял собой удобный вид верхней активной теплозащиты. Иногда шатер оставался до конца подконтрольного периода выдерживания блоков в тепле с сохранением отопления или без такового, обычно же шатер оставался лишь до момента отвердевания верхнего слоя, когда появлялась возможность заменить шатер слоем опилок. Из характеристики шатровых блоков для нас здесь в особенности важно то, что бетон в этих блоках при укладке с боков защищен был единственно опалубкой, а сверху слоем воздуха более теплым, чем наружный. Шатровые блоки в отношении условий твердения следует причислить не к теплякам, а к открытым блокам с определенным типом верхней теплозащиты.

Открытые блоки при твердении защищались с боков опалубкой, а сверху обычно соломенными матами, сменявшимися по отвердевании верхнего слоя опилками. При укладке свежее укладываемый бетон в открытых блоках не был защищен толстым слоем более теплого воздуха. Свежий слой или не перекрывался ничем, или при сильных морозах, по возможности, временно перекрывался досками, соломенными матами или брезентом. Само собой понятно, в наиболее тяжелых условиях свежее уложенный бетон находился как раз в блоках открытых. В табл. 17 даем некоторые необходимые цифры, характеризующие блоки различных типов.

Таблица 17

Блоки, взятые для подсчета коэффициента теплопотерь

Группы блоков	Открытые	Шатровые	Тепляковые
Объем м ³ в среднем	89,6	101,5	254,6
Площадь м ² в среднем	31,6	34	85
Высота м в среднем	3,17	3,00	3,27
Часовое приращение высоты в см в среднем	22,8	20,1	8,4
Часовая укладка бетона м ³ в среднем	5,5	5,4	7,15
Температура наружного воздуха в градусах в среднем по группе	— 4	— 6,3	— 9,3
Тоже, минимальная среднеблочная	— 14,2	— 22,7	— 20,7
Тоже, минимальное частное наблюдение	— 19,2	— 27,0	— 24,0

На рис. 45 дан ряд кривых. По оси абсцисс отложены температуры наружного воздуха. Верхняя кривая относится к температурам бетона. Она построена на основании наблюдений, производившихся у бетонного завода непосредственно после выдачи бетона из бетоньерки в бадью. Как правило, одной и той же температуре наружного воздуха не отвечали одни и те же температуры бетона. Для каждой определенной темпера-

туры воздуха температуры бетона имели некоторую амплитуду колебаний. Для каждой температуры воздуха подсчитали среднюю цифру для температур бетона и по этим цифрам и вычертили кривую бетона. Как мы видим, эта кривая близка к прямой и показывает, что при 0° температура бетона была в среднем $+18^{\circ}$, а при -25° была $+33^{\circ}$. Уравнение прямой: $b = 18 + 0,6 m$, где b — температура бетона и m — число градусов ниже нуля (мороз).

Нижние кривые на диаграмме отвечают температурам бетона в уложенном слое. При укладке бетона бетонная инспекция вела систематические наблюдения за температурой уложенного бетона, которые производились непрерывно и на каждом участке в любую смену присутствовал представитель инспекции. В журнале инспектора записывались температуры наружного воздуха блока через каждые два часа. При наблюдении температуры в слое бетона термометр вставлялся в бетон на глубину около 5 см (рис. 46). Термометр располагался в прежде уложенном слое непосредственно перед покрытием его свежим бетоном. Наблюдения инспекторов позволяли судить о размерах теплопотерь от бетонного завода до места укладки. Бетонный замес объемом в $1,5 \text{ м}^3$ перевозился в металлических бадьях, которые покрывались деревянными покрывками. Время нахождения бетона в бадье в среднем можно считать в 30 минут. Потери тепла в пути при

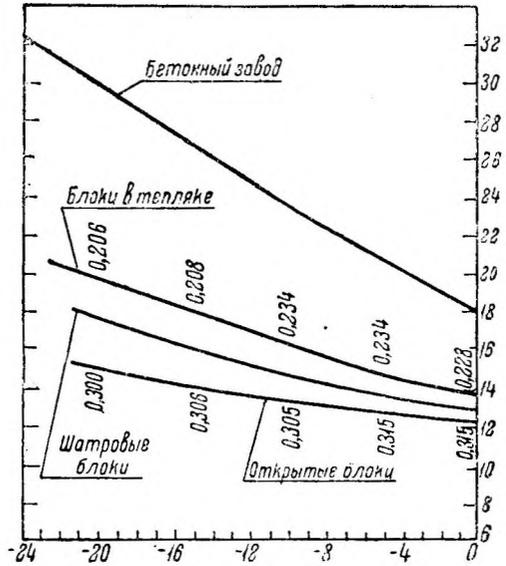


Рис. 45. Температуры бетона у бетонного завода и в уложенном бетонном слое.

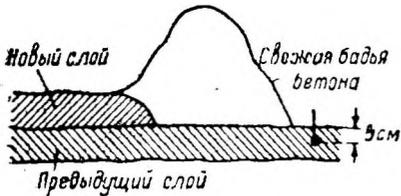


Рис. 46. Схема измерения температуры и уложенном бетонном слое.

таких условиях должны быть небольшими. Исчерпывающего и систематического обследования потерь в пути не производилось. Эпизодические наблюдения за изменением температуры к верхнему слою бетона в бадье не давали права судить о какой-либо потере тепла. В соответствии с имеющимся опытом всю разницу между температурой бетона у завода и температурой бетона в слое относим за счет потерь

тепла при укладке: остывание при опорожнении бадьи, остывание в куче, остывание при распределении бетона по блоку (когда рабочие утантыванием перерабатывают кучу в слой) и остывание уложенного слоя до его перекрытия следующим слоем.

Подсчитаем каковы же были тепловые потери при укладке в открытых блоках. При температуре наружного воздуха -20° бетон у завода был $+30^{\circ}$, а в слое $+15^{\circ}$. Таким образом потеряно 15° . Перепад температур, т. е. разница, между температурой выпущенного заводом бетона

и температурой наружного воздуха, был $30 + 20 = 50^\circ$. Если выразим потерю тепла в процентах от перепада, то получим тепловую потерю $k = 0,30$. Величины k — коэффициента потери тепла при укладке — надписаны снизу соответствующей кривой. Их значения меняются в узких пределах $0,30—0,315$ и в среднем коэффициент теплопотери при укладке равен кругло $0,31$.

Мы видим достаточное подтверждение выставленного нами принципа одинаковости коэффициента теплопотери. Процесс остывания бетонной массы до момента перекрышки следующим слоем в блоке характеризуется коэффициентом теплопотери в среднем $k = 0,31$. Значение $k = 0,31$ характеризует теплопотери в случае открытых блоков в среднем и для практических целей считаем необходимым задать некоторый запас. Для: расчетных целей рекомендуем значение $k = 0,31 \times 1,13 = 0,35$.

На рис. 47 для открытых блоков показана зависимость коэффициента потери тепла при укладке от скорости укладки, причем в качестве показателя скорости укладки избрано среднее почасовое приращение высоты уложенного бетона в данном блоке. Как и следовало ожидать коэффициент k тем меньше, чем скорее укладывается бетон.

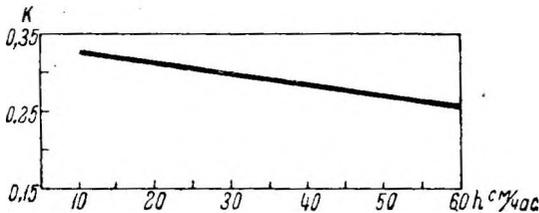


Рис. 47. Зависимость между коэффициентом теплопотери и скоростью укладки для открытых блоков.

Переходим к блокам, бетонированным в тепляках. На рис. 45 вторая сверху кривая относится как раз к этому случаю. Необходимо дать более подробные, сведения о тепляке.

Тепляк относился к блокам плиты камеры шлюза. В тепляке выбирался грунт до проектной отметки и в нем же укладывались нижние блоки шлюза. Тепляк был массивного типа с, пролетом 46 м, высотой $10,38$ м по средние пролеты $6,33$ м у стенок. Полная кубатура тепляка равнялась $28\ 000$ м³, объем же бетона был $14\ 000$ м³. Таким образом объемный коэффициент тепляка, т. е. объем тепляка, приходящийся на 1 м³ бетона, равен 2 . Попутно отметим, что это значение коэффициента обычно для массивных сооружений и может быть применено для предварительных ориентировочных подсчетов объема предстоящих теплячных работ. Обшивка тепляка (стоны к кровля) — дюймовой и толем. Отопление было паровое. Средняя температура тепляка за контрольный период в $2,5$ месяца была $+6,3^\circ$ при средней температуре наружного воздуха — $9,3^\circ$. Сверху кривой температур укладки для блоков в тепляке на рис. 45 выписаны значения коэффициента, теплопотерь и среднее значение k определялось в $0,22$. Уменьшение теплопотерь понятно, здесь сказывается влияние температур тепляка. На рис. 48 показана зависимость коэффициента теплопотери при укладке от скорости укладки. Разбираемый случай характеризуется малыми скоростями укладки. Часовое приращение высоты меняется от 4 до $13,5$ см и в среднем равно $8,4$ см. Из рассмотрения диаграммы на рис. 48 мы видим в какой сильной степени в данном случае на величине теплопотери сказывается скорость укладки.

Переходим к шатровым блокам. Кривая теплопотерь для шатровых блоков расположилась посередине между кривыми для тепляков и для открытых блоков. Среднее значение коэффициента теплопотери при

укладке k для шатровых блоков определилось в $k = 0,265$. Это же значение коэффициента следует относить к случаю обычных тепляков, когда тепляк сооружается на скорую руку без предварительных расчетов теплоградительных свойств стенок и, в особенности, когда отопление производится печками-временками, поставленными в случайном порядке без особых подсчетов.

13 табл. 18 указаны рекомендуемые нами значения коэффициента теплопотери при укладке k :

Таблица 18

Коэффициенты теплопотери при укладке бетона

Род блоков	k из опыта	Коэффициент запаса	Рекомен- дуемое k
1. Блоки в тепляке, находящемся в бла- =0 гоустроенных условиях	0,22	1,045	0,23
2. Блоки шатровые или блоки в обычных тепляках	0,205	1,075	0,285
3. Открытые блоки.....	0,31	1,13	0,35

Кроме потери тепла в период от изготовления бетона до перекрытия следующим слоем в блоке, необходимо иметь представление о потере тепла в период от перекрытия следующим слоем в блоке до момента начала экзотермии.

В начальные сроки после укладки бетона бетонный сдой начинает сравнительно быстро остывать, но через несколько часов проявится действие экзотермии, и температура бетона, пройдя некоторое минимальное значение, начинает возрастать. В соответствии с существующими взглядами требуется, чтобы минимум температуры, имеющий место в первые часы, не был ниже + 5°. Весьма важно задать температуру в свежее уложенном слое, которая бы при данной температуре наружного воздуха предохранила бетон от минимума + 5°. С этой целью температура в слое на Свирьстрое определялась по формуле:

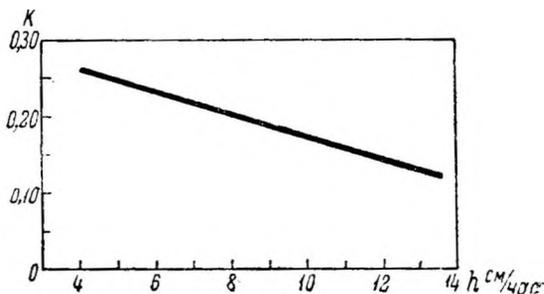


Рис. 48. Зависимость между коэффициентом теплопотери и скоростью укладки для бетона в тепляке.

$$c = 7 + \frac{m}{2},$$

где c — температура в слое, m — число градусов мороза. Так как минимальная температура в первые часы в большей мере зависит от скорости укладки, от скорости наращения слоя бетона над данным уложенным слоем, то на Свирьстрое прорабу предъявлялось требование в отношении способов укладки, а именно почасовое приращение высоты блока

должно было быть при работе в бестепляковых блоках не меньше 20 см в час. Систематические наблюдения за остыванием блоков не давали оснований сомневаться в правильности установленных правил укладки

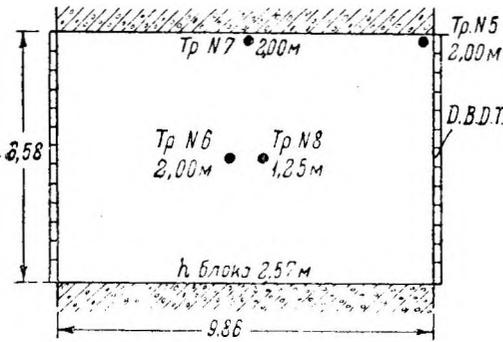


Рис. 49. План блока с трубками для наблюдений температур бетона в ранние сроки.

и за первый день в клингах и трубах отмечались хорошие температуры. Тем не менее, производились единичные более подробные опыты по наблюдению за температурными минимумами в первые часы. О некоторых из них сообщаем здесь.

Чертеж блока с расположением точек дан на рис. 40. Наблюдательские точки: № 8 в центре глубиной 1,25 м, 6 там же глубиной 2,00 м, № 7 против центра длинной грани глубиной 2,00 м, № 5 в углу,

глубиной 2,00 м. Шатернад блоком во время укладки не отапливался и был раскрит. Температура бетонной постели + 7°. высота блока 2,57 м. Бетонирование началось в 5 часов и закончилось в 22 часа. Почасовое приращение высоты 15,2 см.

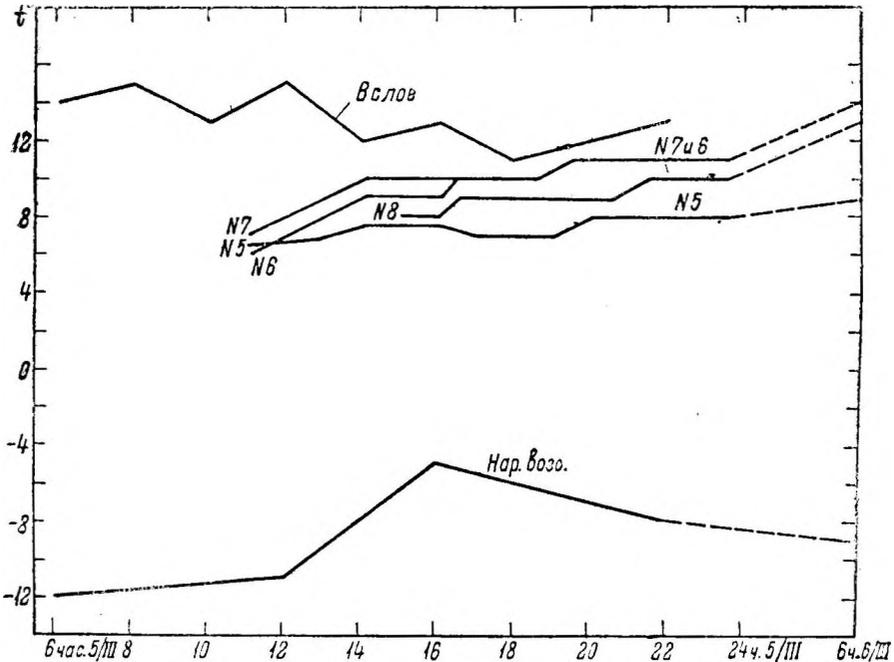


Рис. 50. График температур в бетоне при наблюдениях в ранние сроки.

Верхняя кривая (рис. 50) дает температуры бетона в уложенном слое перед закрытием его последующим слоем. Нижняя кривая относится к температурам наружного воздуха. Бетон, уложенный при средней температуре + 13,3°, остыл для глубоких точек к первому наблюдению,

к 11 часам, приблизительно через 4 часа (судим по средней скорости 15,2 см/час) после укладки, до температуры (+6°)—(+7°). После этого в течение 12 часов температура поднялась для глубокой угловой трубки до 8° и для остальных глубоких трубок — до 11°.

В другом случае бетонировались спои в утепленной опалубке с шатром при температуре наружного воздуха от —9 до —21° (в среднем —15°) и при температуре в слое в среднем +15°. В первые часы твердения температура наружного воздуха была —22° и температура в шатре —7°.

Скорость укладки была 12 см/час. Температура в слое упала также до 6—7° (глубина точки 1 м при высоте блока 1,70 м) и до 5° (глубина точек 0,3 м). Срок, протекший от момента укладки до минимума температуры в бетоне, определить точно нельзя вследствие неполноты записей.

Подсчитав средние цифры по двум блокам, мы видим, что бетон в ранние сроки не охладился ниже 5° при температуре наружного воздуха при укладке — 13°, при температуре в свежеложенном слое 14,1° и при скорости укладки в 13,0 см/час. Результаты получились близко отвечающими требованию строительства к температуре в слое, которая,

как сказано выше, должна равняться $7 + \frac{M}{2}$, т. е. в данном случае

$7 + 6,78 = 14^\circ$. Тем не менее, если считать необходимым недопущение температур в начальные сроки +5°, то в таком случае следует добиваться при укладке бетона в бестепляковые и в особенности в полностью открытые блоки в целях запаса установленной скорости укладки в 20 см/час.

Применим к данному случаю подсчет коэффициента теплопотери, но не забудем, что в данном случае дело идет о теплопотерях в бетоне от момента перекрышки слоя последующим слоем до момента начала экзотермин. Подсчитаем значение коэффициента k для данного случая

$$k = \frac{14,1 - 5}{14,1 + 13} = 0,336.$$

§ 3. Инструктивные температуры подогрева бетона

Основная цель подогрева бетона — предохранить бетон от замерзания до проявления экзотермического эффекта в уложенном бетоне.

Вопрос о температурах подогрет окончательно не может быть решен на основе одних только теплотехнических расчетов. Этот вопрос связан с рядом производственных обстоятельств. Необходимо подытожить полученный за последние годы опыт в данном отношении и вынести более или менее определенное мнение по важному и трудному вопросу.

На рис. 51 дана сравнительная диаграмма кривых подогрева, применявшихся три бестепляковой укладке массивного бетона в зимнее время на Днепрострое и Свирьстрое.

На Днепрострое в первый раз был поднят вопрос о зимней бестепляковой кладке бетона в сезон 1930—1931 г. и тогда же была составлена следующая простейшая теоретическая схема протекания процессов охлаждения бетонных массивов. Бетонные массивы укладываются слоями толщиной в 25 см. Каждый слой остается подверженным действию окружающего холодного воздуха в течение 1 часа. Все это время бетон энергично охлаждается. Впоследствии слой начинает перекрываться следующими слоями и будет, хотя и менее интенсивно, охлаждаться до момента

начала экзотермии, т. е. до срока в 5—6 часов от начала укладки. Минимальная температура охлаждения принята в $+5^\circ$. Учитывая условия остывания бетона в блоке, можно подсчитать какие температуры должны быть в слое при начале укладки на него следующего слоя, чтобы не произошло предельного охлаждения. Днепростроевские требования к температуре в слое выражены кривой ДС (Днепрострой, слой).

Подсчитаем какие коэффициенты теплопотери отвечают теоретическим теплотехническим расчетам, определяющим совокупность кривых

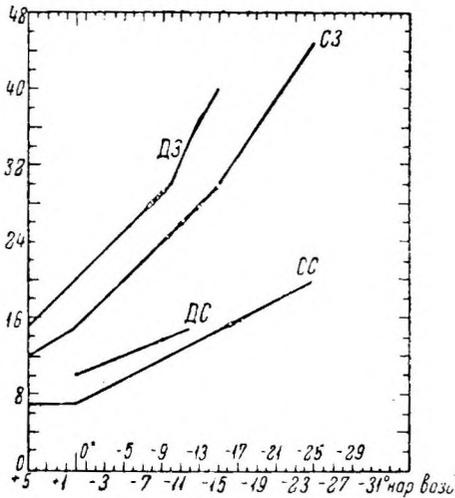


Рис. 51. Диаграммы инструктивных температур подогрева бетона Днепростроя и Свирьстроя при бетонировании без тепляков.

добавить, нет и сейчас. Недаром Днепрострой пределом для бетонирования положил наружную температуру -15° .

Необходимо указать, что не так легко выдержать требования к подогреву бетона согласно кривой ДЗ. По крайней мере в первый зимний сезон 1930—1931 г. бетонный завод Днепростроя не оправился совершенно с задачей, и зимнее бетонирование без тепляков было прекращено при наступлении первых затяжных морозов. Сведений о режиме подогрева во второй сезон 1931—1932 т. в распоряжении автора не имеется. Обратим внимание еще на одно обстоятельство, свидетельствующее о высоком расположении кривой ДЗ. Предел бетонирования $\epsilon = -15^\circ$ совершенно недостаточен для средних и северных частей СССР, где вопрос о зимнем бетонировании, кстати сказать, имеет наибольшую важность. Здесь предел бетонирования необходимо расширить по крайней мере до температуры наружного воздуха -25° . Экстраполируя кривую ДЗ для этого предела, мы приходим к температурам подогрева, бетона около $+60^\circ$. Вряд ли какой-нибудь практик решится на изготовление бетона $+60^\circ$ и на транспортировку такого бетона в бадах большой емкости. При таких условиях будут иметь, по-видимому, место массовые случаи заваривания и гибели бетона в бадах и значительные затруднения с опорожнением бадей.

ДЗ и ДС. Для температуры наружного воздуха 0° коэффициент теплопотери задан:

$$k = \frac{20 - 10}{20 - 0} = 0,5,$$

а для -12° :

$$k = \frac{35 - 15}{35 + 12} = \frac{20}{47} = 0,43.$$

Сравнение теоретических значений коэффициента теплопотери с натурным его значением, определенным на Свирьстрое, указывает на наличие больших запасов в расчетах Днепростроя. Удивляться этим запасам не приходится, так как, при первом опыте бестепляковой кладки следовало быть весьма осторожным. Советских систематических наблюдений но зимней бестепляковой кладке не было. Толковых и вполне определенных сведений о заграничном опыте не имелось, да следует

На основании вышеизложенного не трудно понять почему Свирьстрой, приступая в 1931—1932 г. к массовой укладке бетона баз тепляков, пошел на снижение требований к подогреву бетона. Произведя в начале зимнего сезона некоторые опыты и наблюдения за остыванием бетона в полевой обстановке, Свирьстрой остановился на определенных требованиях к температурам бетона, выраженных кривыми СЗ и СС. Первая кривая относится к бетону у завода, вторая — к бетону в слое перед перекрышкой его следующим слоем. Температура в слое была задана $c = 7^\circ$ для наружной температуры 0° и $c = 20^\circ$ для наружной температуры -25° . Эти требования заключены были в легко запоминаемую формулу:

$$c = 7 + \frac{m}{2},$$

где c — температура в слое и m — число градусов мороза. Простейшая формула, освобождая полевой персонал от необходимости при массовых непрерывных наблюдениях за температурой в слое справляться с таблицей температур, оказалась очень удобной в производственных условиях. Температуры у завода заданы ниже днепростроевских примерно на 5° , а именно:

При наружном воздухе	Бетон на Свири	Бетон на Днепре
+ 5°	+ 12°	+ 15°
0	- 15°	+ 20°
- 15°	+ 30°	+ 40°
- 25°	+ 45°	—

Следовательно кривые температур слоя и бетона у завода на Свири расположены ниже днепровских.

Сравним инструктивные требования Свирьстроя с кривыми фактических температур на рис. 45.

При небольших морозах эти кривые легли даже выше инструктивных, изображенных на рис. 51. При больших морозах мы видим, что в порядке правила инструктивные требования не выполнялись. Бетонный завод Свирьстроя оказался не в состоянии справиться с высокими температурами подогрева. На причинах этого явления пока не останавливаемся. Определенное взаимное расположение эмпирических кривых на рис. 45 позволяет установить фактические значения коэффициента теплопотери для случая открытых блоков. Коэффициент, как сказано выше, получается равным в среднем $k = 0,31$ для потерь в первый период охлаждения и $k' = 0,336$ во второй период.

Мы можем получить выражение для температуры в слое:

$$c = \frac{5 - k'v}{1 - k'} = \frac{5 - 0,336v}{1 - 0,336} = 7,5 - 0,51v. \quad (5)$$

Эта формула позволяет получить для любой температуры воздуха v температуру в слое c , которая должна обеспечить температуру в первые часы не $< 5^\circ$.

Для примера подсчитаем температуру в слое для $v = +5^\circ$:

$$c = 7,5 - 0,51 \times 5 = 4,95 \approx 5^\circ.$$

Действительно при наружной температуре $+5^\circ$, чтобы температура в слое не опустилась ниже $+5^\circ$, достаточно в бетоне в момент перекрышки следующим слоем иметь температуру $+5^\circ$.

Исходя из формулы (5) и учитывая значение коэффициента теплопотери для открытых блоков $k = 0,31$, можно легко получить формулу для температуры подогрева бетона для открытых блоков:

$$\bar{t} = \frac{c - 0,31t}{1 - 0,31} = \frac{7,5 - 0,51t - 0,31t}{0,69} = 10,9 - 1,19t. \quad (6)$$

Проверим формулу для значения $t = +5^\circ$

$$\bar{t} = 10,9 - 1,19 \times 5 = 4,95 \approx 5^\circ.$$

Представим формулы (5) и (6) в более простом виде так:

$$c = 7,5 - 0,5 t \quad (7)$$

и

$$\bar{t} = 11 - 1,20 t. \quad (8)$$

Сравнивая полученные формулы с диаграммой рис. 51, видим, что формула для температуры в слое почти совпадает с соответствующей свирьстроевской инструктивной кривой. Формула для подогрева бетона также ближе к соответствующей свирьстроевской кривой.

Рассмотрим вопрос о запасах в формулах. При составлении практических формул очень часто делают ошибку и не рассматривают отдельно вопрос о соответствии формулы фактическому процессу и вопрос о запасах, необходимых для погашения различных производственных случайностей. Такое разделение необходимо для правильного суждения о достоинствах той или другой практической формулы и для приспособления ее к тем или другим производственным условиям. В формуле (7) мы должны усмотреть наличие уже имеющихся запасов. В самом деле опытные блоки, по которым были наблюдения в ранние сроки, уложены были со средней скоростью укладки в 13,0 см. Эту скорость нельзя принять характерной для открытых блоков. Днепростроевская норма — 25 см/час, свирьстроевская — 20 см/час. Последнюю цифру необходимо принять к выполнению при бетонировке массивных сооружений открытыми блоками. При нормальной скорости укладки в 20 см/час бетон будет меньше остывать и в период от укладки до перекрытия и от перекрытия до начала экзотермии. Таким образом бетон в отношении остывания будет в лучшем состоянии, чем мы предвидели, исходя из формул (7) и (8). Сейчас для нас важен вывод, что при нормальной скорости укладки формула (7) должна дать более благоприятные максимальные температуры к началу экзотермии. Обратим внимание на второе обстоятельство. Укладка опытных блоков была произведена при задержке в устройстве верхнего покрытия. Минимальные температуры получились 6—7° и только в верхних слоях найдена точка с температурой +5°. В нормальном случае, когда забота о верхнем покрытии должна начинаться тотчас по окончании укладки бетона, верхние слои будут в лучшем положении. Итак, опытные блоки, на основе результатов наблюдения за которыми выведена формула (7), не отвечают средним условиям содержания открытых блоков в первые часы. Условия содержания бетона до начала экзотермии в них хуже средних и, следовательно, в формуле (7) содержится некоторый запас, который идет на погашение различных производственных случайностей. Суммарный запас, а именно запас на более высокую скорость укладки и запас на лучшее содержание бетона в первые часы, мы считаем достаточным и формулу (7) пригодной для практического употребления в подходящих условиях.

Переходим к формуле (8). Эта формула выведена с помощью среднего коэффициента теплопотери. Выпуская бетон с температурой, отвечающей этой формуле, мы будем получать на практике температуры в слое в среднем отвечающие формуле (7). Но в отдельных частных случаях возможны как превышения, так и понижения по сравнению с формулой (7). В отношении запасов для формулы (8) могут быть два суждения. Одно, это дать в формуле запас, используя для ее построения коэффициент теплопотери не $k = 0,31$, а рекомендуемое значение коэффициента теплопотери $k = 0,35$. Другое решение, это ограничиться запасом скорости и запасом, который имеется в формуле (7), и дополнительного запаса в формуле (8) не давать. При зимней бетонировке на Свирьстрое практически достигались при сильных морозах температуры подогрева, более низкие, чем этого требует формула (8), и никаких недоразумений и нежелательных явлений или последствий не зарегистрировано. Для окончательного решения вопроса следует привлечь во внимание, что полевые наблюдения, впервые широко поставленные именно Свирьстроем, были проведены систематически в отношении ряда обстоятельств. Мы имеем богатые наблюдения в отношении температур подогрева бетона, в отношении температур в слое и в отношении тепловых процессов в бетонных массивах на протяжении 10-дневного подконтрольного периода. Но мы, к сожалению, не располагаем столь же обширным материалом но специальным наблюдениям за охлаждением блоков в первые часы твердения до наступления экзотермии (первые 1—12 часов) и в отношении изменения температур за 10-дневный подконтрольный период по некоторым важным пикетам, а именно по пикетам, поставленным по нижнему слою блоков. Поэтому мы считаем, что хотя на основе опыта Свирьстроля мы далеко продвинулись вперед в темной области вопросов зимней бетонировки, но все-таки требуется еще дальнейшая разведка и углубление наших познаний в отношении закона твердения зимних блоков, причем направление разведки нам уже ясно. Пока мы не решаемся рекомендовать применение формулы (8) без дополнительных запасов. На будущее выпадает задача, используя опыт Свирьстроля, поставить специальные массовые систематические полевые наблюдения по указанным выше пунктам и окончательно решить важный вопрос.

Формула (8) при применении значения $k = 0,35$ получает вид:

$$b = \frac{7,5 - 0,51\vartheta - 0,35\vartheta}{1 - 0,35} = 11,55 - 1,32\vartheta.$$

Повернем формулу для температуры наружного воздуха $\vartheta = +5^\circ$

$$b = 11,55 - 1,35 \times 5 = 4,95 \approx 5^\circ.$$

После некоторого округления входящих в формулу коэффициентов последняя получает вид:

$$b = 12 - 1,33 \vartheta = 12 - 1\frac{1}{3} \vartheta. \quad (9)$$

Чтобы покончить вопрос о запасах для формул (7) и (9) следует рассмотреть отдельно начальные части кривых. По ряду обстоятельств запас здесь желателен несколько больший. Обратим внимание на то, что точки кривых здесь отвечают начальным периодам зимних бетонировок. Обычно уверенная организация зимних работ налаживается не сразу и к начальному периоду следует проявить особую осторожность. Обратим, кроме того, внимание на то, что коэффициента теплопотери

проявляют тенденцию получаться больше при малых морозах (см. рис. 45). Поэтому следует рекомендовать уменьшение уклона кривых на протяжении от $\vartheta = -5^\circ$ до $\vartheta = +5^\circ$. В окончательном виде рекомендуемые кривые подогрева бетона и температуры в слое даны на рис. 52.

Наибольшей температурой подогрева является 45. Такое значение заставляет беспокоиться о запасах с другой стороны, а именно со стороны опасности заваривания бетона. Эти случаи при высоких температурах бетона и при подаче бетона большеемкими бадьями вполне возможны. Следует принять во внимание случайные перегревы бетона, которых в производственных условиях

не избежать. Например, 7/XII—1932 г. имелся случай схватывания бетона в трех бадьях, изготовленных последовательно друг за другом и шедших в тепляк па плотине. По выявлении случая, произвели поверку температуры. Температуры бетонных составляющих на заводе оказались: гравия 45° , песка 92° и воды 80° . Бетон оказался с температурой $> 50^\circ$. Точно измерить температуру бетона не удалось по причине отсутствия на месте происшествия термометра до 100° . По подсчетам температура бетона получается 4° . Результаты специальных опытов по выдержке сильно подогретого бетона в большеемких бадьях автор не располагает. В соответствии с представленным случаем примем из осторожности границу заваривания в, 60. При таких условиях запас, по линии заваривания ранен.

$$\frac{60 - 45}{60} = 0,25 \text{ и}$$

этот запас считаем достаточным. Вообще же говоря, вопрос подлежит дальнейшему рассмотрению, так как,

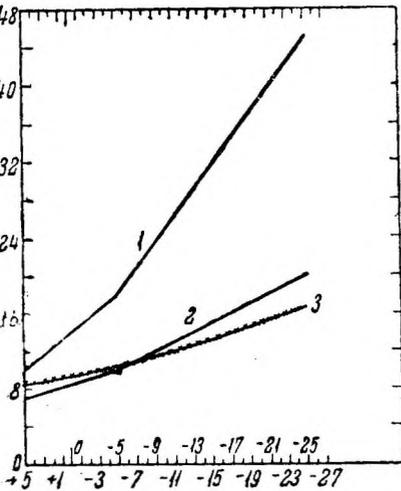


Рис. 52. Диаграмма руководящих температур подогрева бетона при бетонировании бон тепляков и в тепляках.

1—кривая подогрева бетона для открытых блоков, 2—кривая температур в слое для открытых блоков, 3—кривая подогрева бетона для тепляков.

не производилось исчерпывающих опытов по изучению заваривания в большеемких бадьях и нет описаний практики систематического изготовления бетона при средней температуре в 45° .

Сравнивая рекомендуемые инструктивные кривые с диаграммой рис. 51, убеждаемся, что эти кривые восьми близко совпали со свирьстроевскими нормами на подогрев.

В табл. 19 приведены рекомендуемые температуры подогрева и в слое для открытых массивных блоков.

На рис. 52 дана кривая подогрева бетона и в случае применения тепляков. Желательная температура в слое для случая тепляков принята $+7^\circ$. Кривая подогрева построена, исходя из рекомендуемого нами коэффициента теплопотери для благоустроенных тепляков $k = 0,23$:

$$\vartheta = \frac{7 - 0,23\vartheta}{1 - 0,23} = 9 - 0,3\vartheta.$$

Для ϑ от -5 до $+5$ дан некоторый малый запас.

Таблица 19

Температуры подогрева бетона и в бетонном слое для открытых массивных блоков

Температура наружного воздуха	Температура подогрева бетона	Температура в слое
+5°	+ 10°	+7°
0	14	8,5
-5	18	10
-10	23	12,5
-15	25	15
-20	38	17,5
-25	45	20

Как мы видим, разница в размерах подогрева для открытых блоков и блоков тепличных получается значительная, например, для $t = -25^\circ$ разница выражается в 30° . При больших тепличных работах этой разницей пренебрегать не следует. Соответствующую кривую для тепляков обычного типа не трудно получить, используя соответствующее рекомендуемое значение коэффициента теплопередачи $k = 0,285$.

В табл. 20 даны инструктивные температуры подогрева бетона и в СЛОЙ для блоков в благоустроенных тепляках.

Таблица 20

Температуры подогрева бетона и в бетонном слое для блоков в благоустроенных тепляках

Температура наружного воздуха	Температура подогрева бетона	Температура в слое
+ 5°	+ 9°	+ 7°
- 3	10	7
- 7	11	7
-11	12	7
-13	13	7
-17	14	7
-20	15	7
-23	16	7
-27	17	7

При больших морозах, когда сильно подогретый бетон сравнительно длинный срок (20—30 минут) лежал полторакубометровой массой в бадье, наблюдалось заметное падение сплывов. Производились соответствующие опыты с постановкой сплывщика у завода и в блоке. Для температуры бетона 30° потеря сплыва определилась в 5 см. В результате на бетонном заводе задавались большие сплавы с расчетом получения надлежащего оплыва в блоке. Увеличение оплыва естественно сопровождается увеличением порции воды и, как будто, для сохранения свойств бетона требует увеличения порции цемента. Произведенные опыты в лаборатории установили, что увеличение порции в данных условиях воды на свойствах бетона не сказывается. В част-

ности прочность подогретого бетона с увеличенным опльвом равна прочности неподогретого бетона с нормальным сплинном. Невидимому решающим, является водоцемент не у бетонного завода, а водоцемент у блока. Вода, освоенная теплым бетоном при транспортировке бетона, не может создавать дополнительную пустотность в бетоне и влиять на уменьшение прочности.

§ 4. Подогрев материалов на бетонном заводе

Бетонные составляющие обогревались на бетонном заводе паром. Паровое хозяйство на Свирьстрое состояло из стационарной коче-

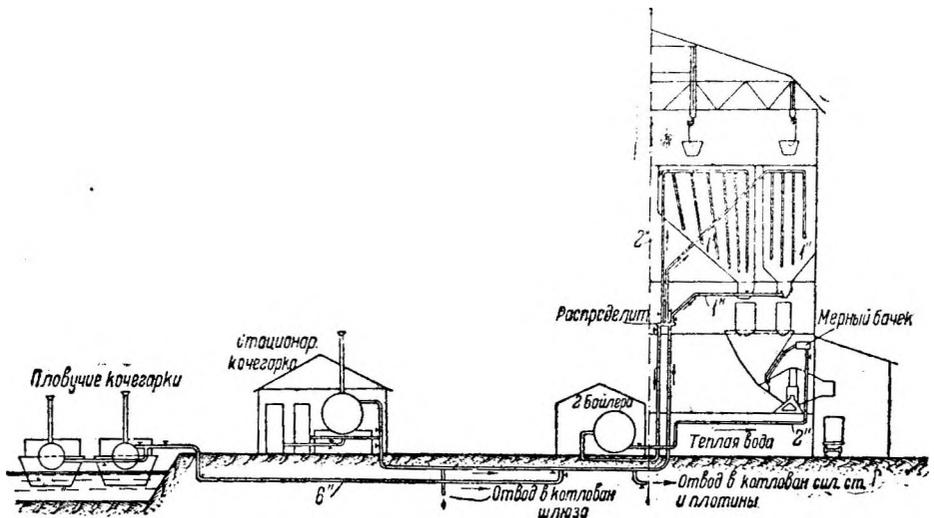


Рис. 53. Схема обогрева инертных материалов и воды на бетонном заводе Свирьстроя.

гарки, где были три котла с общей поверхностью нагрева 180 м^2 и двух плавучих кочегарок с общей поверхностью нагрева 90 м^2 . Давление пара держалось $4\text{--}5 \text{ ат}$. Кочегарки работали на обогрев бетонных составляющих и подавали пар в котлован шлюза и в котлован силовой станции и плотины, где пар шел на отопление тепляков и для потребностей активной теплозащиты бестепляковых блоков, для обогрева их постелей, граней прилегающих блоков и пр. Кроме того, кочегарки обогревали несколько зданий производственного характера и в том числе бетонный завод. В помощь кочегаркам временами к шлюзу подавался паровоз с поверхностью нагрева 152 м^2 и давлением пара $8\text{--}10 \text{ ат}$. Обогрев воды на бетонном заводе в зиму 1931—1932 г. начался 23/X, обогрев инертных — 6/XII. Обогрев закончился в самом начале мая. Автор, к сожалению, не располагает точными данными в отношении размера затрат пара на отдельные надобности. Тем не менее на основании некоторых наблюдений и соображений можно рекомендовать для расчетов котельных установок цифру в $250\text{--}300 \text{ кг}$ на 1 м^3 бетона, укладываемого бестепляковыми способами.

На рис. 53 дана схема обогрева материалов на бетонном заводе. Пар от кочегарок направлялся к распределителю, от которого в ка ж-

дай бункер с гравием и песком шла труба, снабженная вентилем. И гравий и песок обогревались паром, выпускавшимся непосредственно в массу материала. Попутно отметим, что на Волховстрое щебень обогревался впуском пара в массу щебня, а лесок обогревался батареями; на Днепрострое: в 1930—1931 г. песок обогревался трубами, а в щебень пар выпускался непосредственно.

От распределителя одна труба шла к бойлерам для нагрева воды, откуда горячая вода подавалась в мерные водяные бачки. Схема бойлерного хозяйства представлена на рис. 54. Из рисунка видно, что было два бойлера. Опыт показал совершенную необходимость двух бойлеров. При одном бойлере авария подогревающего устройства для воды приносит чрезвычайные затруднения. На рис. 53 показана схематически система трубок в бункерах инертных. Для примера остановимся под-

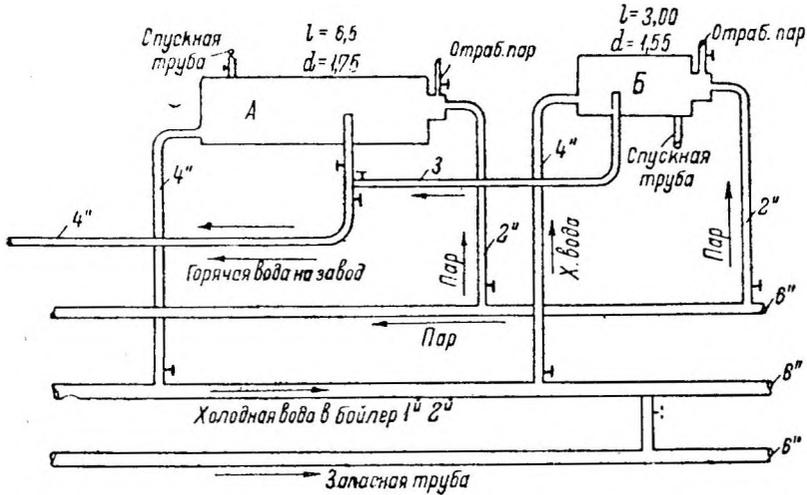


Рис. 54. Схема бойлерного хозяйства при бетонном заводе Свирьстроа.

робнее на описании бункера с гравием. Подводящая трубка 2" раздала пар 6—8 разводящим трубкам 1 1/2". Разводящие трубки висели на петлях и крюках, прикрепленных к поперечинам настила над бункерами. Поперечины предохраняли трубы от разрушения, от удара инертными, падающими сверху из вагончиков канатной дороги. Разводящие трубки состояли из отдельных звеньев, соединенных тройниками. К тройникам были через промежуточные муфты подвешены рабочие трубки 1". На одну разводящую трубку приходилось 6—7 рабочих. Рабочие трубки сохраняли определенное положение с помощью горизонтальных тяг из полосового железа, к которым крепились нижние части трубок. На нижних двух третях рабочих трубок были снабжены отверстиями диаметром: 3 мм. На, 1 пог. м приходилось 14 отверстий. Можно считать, что на 1 м³ материала при полном заполнении бункера, приходилось при наличии всех рабочих трубок около 2—3 отверстий. Нижний конец рабочих трубок был запаян. Инертный материал по мере выработки опускался вниз и с большой силой увлекал за собой рабочие трубки. Рабочие трубки очень часто рвались преимущественно в местах присоединения к муфтам. Извлечение из бункера трубки, оторвавшейся и проскочившей концом через

выпускной шибер мерного ящика наружу и мешавшей закрытию шибера, представляло собой кропотливую и неприятную операцию. В результате непрерывного обрыва рабочих трубок бункеры приходилось по очереди ставить под ремонт (каждый бункер не менее одного раза в сезон). В наличии при эксплуатации отопительных устройств в бункере, было на круг от половины до двух третей первоначально установленных трубок. При вертикальном размещении рабочих трубок, представляющем целый ряд удобств, необходимо обратить внимание на особо прочное крепление этих трубок. Некоторую пользу приносило крепление трубок горизонтальными тягами из полосового железа, но, в первую очередь, на будущее следует озаботиться усилением муфтового соединения.

Опыт Свирьстроа показал пользу дополнительных отдельных трубочек, которые шли к выпускным устройствам и которые подавали струю пара в нижнюю часть материала в бункере. Эти трубочки сыграли важную роль. При слабом обогреве материалов они давали возможность сильнее обогреть сравнительно небольшую порцию материала, идущую вскоре в мерный ящик. Иногда только благодаря наличию этих трубок удавалось приводить в движение смерзшуюся внизу бункера часть материала.

Чтобы установить некоторый порядок в подогреве различных составляющих, в инструкции по зимней кладке были проставлены определенные пределы для подогрева материалов на разные случаи наружных температур (см. табл. 21).

Таблица 21

Температуры подогрева инертных и воды на бетонном заводе

Наружная температура	Бетон	Вода	Инертные
+ 5°	+ 12°	} до + 45°	до + 25°
0	+ 15		
— 5	+ 20		
— 10	+ 25	} до + 60°	до + 35°
— 13	+ 30		
— 18	+ 35		
— 20	+ 38	} до + 85°	до + 45°
— 23	+ 42		
— 25	+ 45		

При определении указанных пределов пользовались известной формулой, взятой из физики и относящейся к средней температуре смеси материалов. Эта формула применительно к бетонной массе примет вид:

$$t_{\delta} = \frac{(0,2G + B_2)t_2 + (0,2II + B_n)t_n + 0,2III t_u + B_{\delta} t_{\delta}}{0,2(G + II + III) + B} \quad (10)$$

где t_{δ} , t_2 , t_n , t_u , t_{δ} — температуры соответственно бетонной массы, гальки, песка, цемента и добавляемой воды; G , II , III , B_n , B_{δ} , B — весовые количества гальки, песка, цемента, воды в гальке, воды в песке,

добавляемой воды и всей воды; 0,2 и — теплоемкости сухих материалов (гальки, песка и цемента) и воды.

При указанном пользовании формулой в запас в расчете на потерю тепла при перемешивании в бетоньерке пренебрегали теплосодержанием в цементе, т. е. принимали $t_u = 0$.

Для рассматриваемого ниже периода имеем в среднем на замес $\Gamma = 2000$ кг, $\Pi = 1100$ кг, $\text{Ц} = 420$ кг, $B = 235$ кг, $B_2 = 39$ (влажность гальки $\approx 2\%$) и $B_n = 51$ кг (влажность песка 5,5%).

При таких условиях формула получит вид;

$$t_{\sigma} = 0,46 t_{\text{г}} + 0,29 t_n + 0,16 t_{\sigma} \quad (11)$$

Формула для случая

$$\begin{array}{l} t_{\Gamma} = t_{\Pi} = 25^{\circ} \quad \text{и} \quad t_{\sigma} = 45^{\circ} \quad \text{дает} \quad t_{\sigma} = 26^{\circ} \\ t_{\Gamma} = t_{\Pi} = 35^{\circ} \quad \text{„} \quad t_{\sigma} = 60^{\circ} \quad \text{„} \quad t_{\sigma} = 36^{\circ} \\ t_{\Gamma} = t_{\Pi} = 45^{\circ} \quad \text{„} \quad t_{\sigma} = 85^{\circ} \quad \text{„} \quad t_{\sigma} = 47^{\circ} \end{array}$$

Цифры получаются близкие к соответствующим предельным цифрам табл. 21.

На некоторых авторов гипнотически действует большое значение теплоемкости воды и только поэтому эти авторы придадут особое значение подогреву воды, по при этом упускается из виду меньшая значимость градуса подогрева воды вследствие малости самой порции добавляемой воды. Коэффициент при t_{σ} в формуле (11) своей величиной способен установить истинное реальное значение подогрева воды. Следует отметить, что особая роль подогрева воды заключается в другом. Признаем температуру наружного воздуха $t_2 = t_n = 0$ и $t_{\sigma} = 85^{\circ}$. Но формуле получаем $t_{\delta} = 13,6^{\circ}$, т. е. весьма близкую к инструктивной. Подогрев воды проще и скорее осуществим, нежели обогрев инертных. Следовательно, в периоды условных морозов ($+5^{\circ} — 0$) удобно и вполне возможно обходиться одним обогревом воды. Другие авторы не учитывают отдельно воду, содержащуюся в инертных, и всю воду при расчете t_{δ} причисляют к добавляемой. Этот прием в наших условиях дает ошибку в 3° , в других подходящих случаях может дать и большую ошибку.

На рис. 55 дана диаграмма температур бетонной массы, гальки, песка и воды в зависимости от температур наружного воздуха. Для построения диаграммы из дежурной книги бетонного завода взяты 250 последовательных строчек, причем в каждой строчке имелись соответственные температуры бетонной массы, гальки, песка и воды. Кривая для температур бетона получилась несколько отличающейся от кривой, полученной нами для сравнения с температурами в слое (рис. 45). Причина отличия заключается в другом составе наблюдательских точек, но различие в общем невелико и укладывается приблизительно в $0,5^{\circ}$. Сравним по табл. 22 рекомендуемые инструкцией пределы температур поставляющих со средними фактическими, отвечающими кривым рис. 55.

Из таблицы ясно видно, что в среднем бетонный завод не в состоянии был выдержать рекомендуемые температуры бетонных составляющих, поэтому и температуры бетона получались ниже инструктивных. Но, видимо, в осуществленной системе подогрева имелись еще возможности достижения более высоких температур. Об этом говорит характер кривых. Кривые в подъеме своем не успокаиваются при силь-

Таблица 22

Сравнение инструктивных и средних фактических температур воды и инертных

Температура наружного воздуха	Температура воды		Температура инертных	
	Инструктивная	Средняя фактическая	Инструктивная	Средняя фактическая
— 10°	45°	52°	25°	21°
— 18	60	55	35	27
— 25	85	57	45	31

ных морозах и продолжают подниматься. Об этом же говорят случаи единичных выдач бетона с высокими температурами в начале пуска

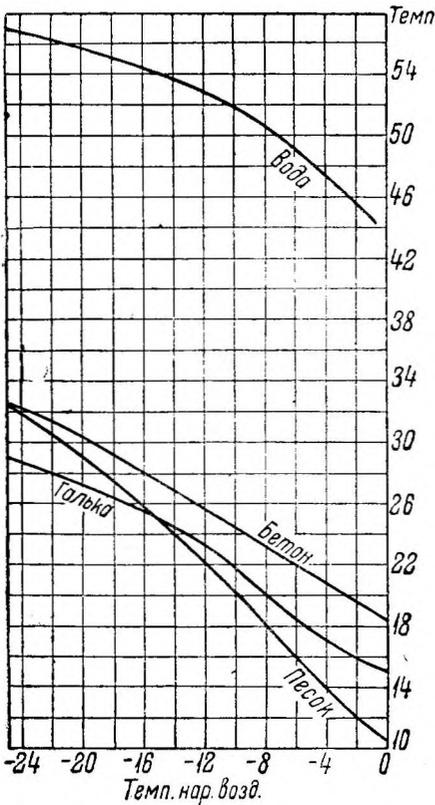


Рис. 55. Диаграмма температур бетона и бетонных составляющих при различных температурах наружного воздуха.

в ход подогревательных устройств для инертных. По-видимому если обратить особое внимание на прочное укрепление, рабочих подогревательных труб, то можно добиться более высоких температур бетона, не меняя принципиальной стороны обогрева, т. е. обогрева непосредственным воздействием паром при данном количестве отверстий на 1 м³ материала и при данных размерах и расположении трубок к бункерам.

Можно для различных температур наружного воздуха, пользуясь формулой (11), подсчитать температуру бетона, взяв из диаграммы рис. 55 соответствующие температуры бетонных составляющих. Результаты получатся близкими к температурам бетона на той же диаграмме. Разница получается в среднем в 0,5. Как будто бы (формула находит достаточное подтверждение в данных таблицы. Отметим, что уверенное мнение о хороших качествах формулы можно было бы вынести лишь в результате обработки по методу наименьших квадратов систематического материала многочисленных наблюдений за температурами бетона и бетонных составляющих или в результате точного лабораторного опыта. Второй путь был закрыт для ангора вследствие отсутствия соответствующей аппаратуры. Первый был невыполним

ного лабораторного опыта. Второй путь был закрыт для ангора вследствие отсутствия соответствующей аппаратуры. Первый был невыполним

вследствие отсутствия записей в журнале бетонного завода температур цемента. В будущем следует вести регистрацию температур цемента, несмотря на малую, может быть, ценность этих сведений с точки зрения производственника.

Подтверждение формулы (11), а следовательно, и (10) в практических данных мы ищем не потому, что сомневаемся в основных предпосылках формулы. Основные предпосылки непрекаемы, так как они отвечают точным физическим законам. Уравновешивание теплосодержаний составляющих должно в конце концов отвечать формуле (10). Но укажем, например, на неясный вопрос: заканчивается ли это уравновешивание к концу перемешивания бетона в бетоньерке и не остается ли в стороне от процесса уравновешивания внутреннее ядро крупной гальки. Для примера предположим, что 950 кг гальки не участвует при перемешивании в теплообмене. Тогда получим формулу:

$$t_{\sigma} = 0,324 t_{\tau} + 0,367 t_{н} + 0,196 t_{\delta}. \quad (12)$$

Результаты сравнения данных формулы (12) со средними фактическими температурами бетона окажутся такими же хорошими, как и для формулы (11). Вопрос о скоростях теплоотдачи в гальке нуждается, по-видимому, в дальнейшем разъяснении.

Кривые на рис. 55 отвечают некоторым средним условиям. На самом деле каждой температуре наружного воздуха не отвечала фактически определенная температура бетона и составляющих. Например, для воздуха — 10° температура песка не получалась обязательно равной +20°. При температуре наружного воздуха — 10° осуществлялись различные температуры песка, группировавшиеся около + 20°. Об этом обстоятельстве мы упоминаем потому, что распространенные представления о процессе подогрева часто схоластичны и не учитывают наличия неизбежных неравномерностей производственного процесса. Температуры бетона — получились разными по целому ряду причин: разница в работе бойлера, трудности в регулировании подогрева инертных в бункерах (инертные подогревались в бункерах, а температуры замерялись в мерном ящике), неравномерности дозировки, быстрая изменчивость температуры наружного воздуха и т. д. Любопытно, что температура бетона как-то зависела от выдаваемой кубатуры бетона и снижалась при увеличении запроса на бетон (см. рис. 56). Неравномерность подогрева можно измерить средним уклоном наблюдаемых частных температур от кривой соответствующих температур на рис. 55. Для бетона среднее уклонение получилось равным 3°, а для составляющих 4—5°.

Необходимо стремиться к снижению степени неравномерности в подогреве, т. е. другими словами к снижению соответствующего значения среднего уклонения. Коли температуры бетона будут более стандартными, то упростится служба контроля и наблюдений за укладкой и твердением бетона, и зимняя бетонировка будет проходить спокойней. Возможных путей здесь три.

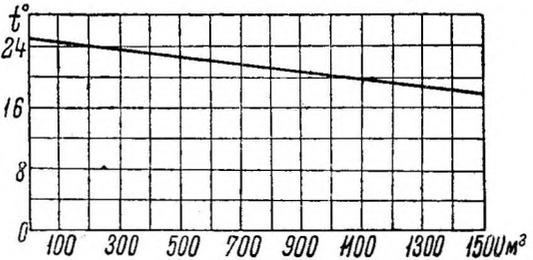


Рис. 56. Зависимость температуры подогрева бетона от суточной кубатуры бетона.

1) Окончательный подогрев смеси производится форсунками или другим каким-либо способом в 'бетоньерке. Инертные подогреваются настолько, чтобы обеспечить проходимость материала через лотки и затворы. При таком способе исключено влияние разницы в температурах отдельных порций составляющих.

2) Производится более точный обогрев составляющих, что дает возможность точно фиксировать температуру бетона. Осуществить более точный обогрев инертных можно путем первоначального обогрева в бункерах и окончательным и точным обогревом в мерных ящиках. Принимаются меры к уверенному, безотказному нагреву воды. К мерному бачку вода подается холодная и горячая и заданная температура воды достигается в результате соответствующего смешения. Другой способ подогрева воды может заключаться в подогреве электричеством, воды до заданной температуры. Пользуясь случаем, отмечаем вообще отсутствие внимания к применению электрической энергии к подогреву бетонных составляющих.

3) Инертные в бункерах обогреваются с небольшим запасом в температуре. Температура смеси регулируется добавкой воды, температура которой может регулироваться.

Чтобы закончить вопрос о подогреве отметим отсутствие какой-либо дифференциации бетона на Свири в отношении подогрева. В частности, не был выделен бетон для тепляковых блоков, хотя в данном случае можно было бы ограничиться более слабым подогревом. Указанную меру можно представить осуществленной при выделении двух бетоньерок для теплякового бетона. Но всякая специализация бетоньерок в условиях мощного завода и сплошь механизированного тракта бетона крайне нежелательна, так как она отражается на производительности механизированной системы и может привести к путанице и смешению, специализированных бетонов. Основное условие успешной работы механизированной системы — это стандартизация приемов и материалов и одинаковые условия работы каждого однородного механизма, Это требование стандартизации следует нарушать в самых необходимых случаях. В данном случае не было найдено возможным поступиться указанным требованием.

§ 5. Забота о твердеющем бетоне

Забота о твердеющем бетоне в зимнее время в бестепляковых блоках может идти по двум линиям: увеличения порции цемента и усиления теплозащитных свойств опалубки.

Первая мера находит применение и в приложении к массивным блокам. Например, на Магнитострое. инструкцией предусматривался ряд составов с широким диапазоном расходов цемента на 1 м^3 , а именно от 212 до 518 кг на 1 м^3 . Автор не располагает сведениями осуществлялся ли этот диапазон на Магнитострое и как успешно. На больших же гидротехнических стройках от данного способа заботы о твердеющем бетоне, по-видимому, следует отказаться.

Прежде всего необходимо высказаться против практики многочисленности составов, предлагаемых прорабу для выбора в различных условиях. В условиях механизированной системы требуется определенная степень стандартизации. На Свирыстрое в зависимости от рода сооружений в каждый данный момент приходилось вводить некоторые различия в составе бетона. Различных номеров составов на Свирыстрое

наберется до семи, но в ходу на каждый данный момент было обычно не больше четырех. При большом количестве действующих составов трудно избежать путаницы в транспортировке бетона и чувствительно нарушается требование взаимозаменяемости бетона различных бадей. Нередки случаи заминки в работах, когда деррик не может принять доставляемого к нему бетона. В таких случаях бывает очень ценной возможность отправить бетон к другому деррику.

Увеличение порции цемента усиливает экзотермический эффект и ускоряет твердение бетона и с этой стороны должно как будто бы приветствоваться в условиях бестепляковой зимней кладки. Тем не менее, Свирьстрой не прибегнул к этой мере. С одной стороны, мы убедились, что можем вполне обойтись и без этой меры, с другой стороны, мы учли некоторые отрицательные черты меры: необходимость больших расходов цемента в условиях лимитированной доставки цемента и усиление усадочных явлений.

Мы уже приводили результаты некоторых наблюдений за поверхностными трещинами. При этих наблюдениях мы установили ясно только одну несомненную зависимость. Трещины на поверхности обусловлены порцией цемента. Чем больше порция цемента, тем больше рождается трещин. Начиная с расхода цемента $280\text{—}300 \text{ кг/м}^3$ количество трещин начинает заметно расти в летних условиях. В зимних условиях явление должно усиливаться. И действительно мы летом никогда не замечали таких глубоких трещин, которые в соответствующих же условиях (те же расходы цемента) находили зимой. Трещины глубиной до $11\text{—}15 \text{ см}$ нежелательны. Не следует забывать, что сила проявления усадочной энергии в верхнем слое блока как-то отвечает усадочным возможностям самого массива. Так как в гидротехнических массивных блоках принято избегать возможности развития усадочных явлений, то отсюда вытекает мысль об особой нежелательности увеличения порции цемента в условиях зимней бетонировки. Поэтому-то Свирьстрой постарался обойтись без увеличения цементной порции для целей защиты твердеющего зимнего бетона.

Переходим к вопросу определения режима защиты твердения бетона, которая обеспечивается усилением опалубки и ведется определенный контрольный срок. Чтобы определить характер и размеры защиты твердеющего бетона необходимо уяснить точно задачу, стоящую перед этой защитой. Правильно будет предъявить требование к зимнему бетону сохранения запасов прочности, сохранения полностью тех свойств, которыми обладает летний бетон. Зимний бетон результативно должен иметь все признаки добротного бетона как по линии прочности, так; и по линии морозоупорности и водонепроницаемости. Так как вопросы прочности лучше изучены, начнем с них.

К летнему сезону предъявляются определенные требования к R_{28} — временному сопротивлению контрольных кубиков, хранящихся 28 дней при температуре $+ 15^\circ$. Посмотрим, что в натуре отвечает этому требованию. В параграфе о твердении бетона мы убедимся в неодинаковости процессов твердения в массивном блоке. В центральных частях к 28-дневному сроку прочность бетона может быть и больше R_{28} , а в периферийных частях она будет определяться температурой среды. С большей точностью мы можем принять упрощенное представление, что средняя температура твердения бетона периферийных частей за срок 28 дней будет равна средней температуре среды за этот срок.

На рис. 57 составлена диаграмма по месяцам, где условно против середины каждого месяца отложена средняя температура за месяц. На диаграмме показаны границы периодов средних температур $> 15^\circ$, $> 5^\circ$ и $> 0^\circ$. Из диаграммы мы видим, что только при бетонировке от середины июня до середины июля мы можем надеяться получить в периферийных точках 28-дневные прочности $> R_{28}$. В остальное время теплого сезона прочность периферийных точек будет $< R_{28}$. Тем не менее, в соответствии с установившейся практикой мы здесь не видим неудовлетворения требования по прочности, если только контрольный кубик, дает R_{28} . В частности от середины апреля до середины сентября условия бетонирования никогда не считались зимними. Вопросы запасов прочности весьма сложны и до сих пор полностью не рассмотрены. Но для нас важно то, что нормам не противоречит практика твердения массивов при температуре среды

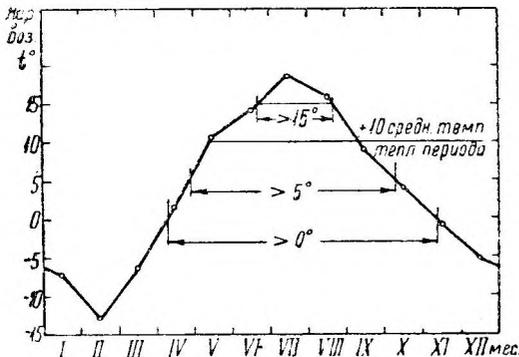


Рис. 57. Диаграмма среднемесячных температур.

при температуре среды $+ 5^\circ$ при условии получения в контрольном кубике нормальной прочности. Иными словами мы принимаем вполне допустимым в периферийных точках достижение к 28-дневному сроку прочности

$$R' = \left(\frac{5}{15} \right)^{\frac{1}{2}} R_{28} = 0,575 R_{28} \quad (1)$$

что для Свирьстроя дает $0,575 \times 100 = 92 \text{ кг/см}^2$.

Отсюда вполне естественно вытекает соответствующее требова-

ние к зимней бетонировке. Защита в контрольный срок твердеющего бетона должна обеспечить максимальные прочности бетона (в периферийных точках) в 94 кг/см^2 . Этот вывод не противоречит требованию определенной прочности бетона к 28-дневному сроку и отвечает самому неблагоприятному случаю бетонировки в теплое время.

Подойдем, к тому же вопросу с другого конца. Обратим внимание на то, что бетонные массивные гидротехнические сооружения сдаются под полную проектную загрузку не через 28 дней, а через сроки значительно большие, через год, два, и т. д. Можно вполне признать в качестве срока полной нагрузки массивов один год. Таким образом прочность гидротехнического бетона ближе всего характеризуется при сделанном нами предположении величиной $R_{\text{год}}$.

В зимний сезон 1930—1931 гг. механической лабораторией Ленинградского института инженеров путей сообщения совместно с механической лабораторией стройки был поставлен ряд опытов на строительной площадке Свирьстроя. Результаты: одной серии опытов изображены кривой на рис. 58. Изготовлены были кубики из бетона, близкого по составу к применявшимся на Свирьстрое при, водоцементе 0,56. Кубики n дней находились в условиях нормального хранения и после того были выставлены на мороз и 73 дня в условиях зимнего времени лежали на открытом воздухе, причем в число этих 7-3 дней попал

1) См. формулу (13).

период, когда температура менялась от -27° до $+7^{\circ}$. После этого кубики были раздавлены па прессе. Число дней первичного хранения в нормальных условиях менялось от 1 до 7 суток. Результаты раздавливания кубиков па прессе и показаны на рис. 58. Нормальная прочность бетона, т. е. прочность бетона, оставшегося 28 дней в нормальных условиях при температуре $+15^{\circ}$ и испытанного на сжатие в конце этого срока, оказалась 145 кг/см^2 . Кривая рис. 58 устанавливает весьма важное обстоятельство, что при увеличении срока первичного хранения n окончательная прочность бетона растет, но рост этот постепенно замедляется и, невидимому, если первично кубики хранились в нормальных условиях больше 7 суток, то размер срока не отражается на окончательной прочности. Единственное объяснение такого явления может состоять в том, что для бетона существует некоторая минимальная прочность, достижение которой гарантирует от вредного (воздействия мороза на прочность. Этой минимальной прочностью должно быть на основании рис. 58 временное сопротивление кубиков данного состава через 7 дней нормального хранения, т. е. величина

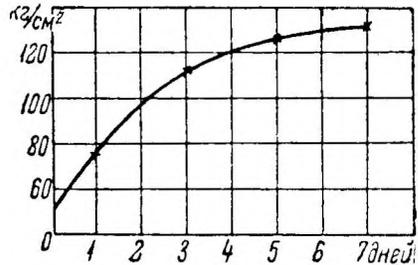


Рис. 58. Прочность бетона, подвергнутого действию мороза-через различные сроки после затвердения.

$$R' = \frac{3 \cdot 0,56^{1,5}}{6 \cdot 0,56^2} 145 = 0,67 \cdot 145 \approx 97 \text{ кг/см}^2.$$

Таким образом если бетон имеет прочность $R' = 97 \text{ кг/см}^2$, то он не боится действия мороза и зима не должна вредно отразиться на его прочности. Иными слотами массивы, забетоненные в теплое время (см. рис, 57), должны через год в периферийных частях обладать одной и той же прочностью, равной, если не учитывать некоторого роста прочности зимой, временному сопротивлению кубика, которое он приобретает при хранении в течение 7 месяцев при температуре $+10^{\circ}$ (средняя температура периода)

$$R_{7 \text{ мес.}}^{+10^{\circ}} \approx 1,5 R_{28} = 240 \text{ кг/см}^2.$$

Для того чтобы массивы, забетоненные в зимнее время, также дали годовую прочность в периферийных частях 240 кг/см^2 , необходимо сообщить им в контрольный период прочность в 97 кг/см^2 , тогда, мы дадим бетон равнопрочный с летним.

Обратимся к американским данным. Американцы (см. февральский номер «Concrete» 1931 г., статья Бэркса и Дархема) считают, что бетон с прочностью $600\text{—}900 \text{ фун./дм}^2$ не боится вредного действия мороза. Взяв из американских данных большее число, получим в метрических мерах:

$$\frac{900 \cdot 0,453}{6,45} = 63 \text{ кг/см}^2.$$

По-видимому эта цифра относится к результатам, получаемым при раздроблении не кубиков, а цилиндров. Приняв переходное число 0,8, получим, что по американским данным

$$R' = 80 \text{ кг/см}^2.$$

Различными рассуждениями мы получили для R' три цифры: 80, 92 и 97 $кг/см^2$. Все эти цифры достаточно близки по своим значениям. При составлении свирьстроевской инструкции по зимнему бетонированию установили предельную прочность $R' — 90 кг/см^2$.

Мы достаточно полно остановились на отыскании условий, предохраняющих от вредного действия зимы на прочность бетона. В нашем распоряжении нет результатов достаточно определенных опытов специально на влияние замораживаний на водонепроницаемость. Но весьма трудно предположить, что мороз, может нанести урон бетону в отношении водонепроницаемости, не нанеся одновременно ущерба его прочности, и мы полагаем, что обеспечение бетону прочности R' укрепляет его не в меньшей мере и в отношении водонепроницаемости. Это замечание совпадает с американскими установками в данном вопросе.

Зная необходимую прочность бетона в конце контрольного периода, можно установить желательную продолжительность этого периода. Для этого на Свирьстрое мы использовали опыт первых пробных бетонировок в двойных опалубках и остановились на периоде в 10 дней.

Теперь можно перейти к соображениям о тепловом режиме нейтрального периода. Обращаясь к рис. 66, находим для $R_{10} — 90 кг/см^2$ соответствующую среднюю температуру бетона $6,5^\circ$. В свирьстроевской инструкции предусматриваются температуры в течение первых 3 суток не $< 10^\circ$, в течение четвертых и пятых суток не $< 7^\circ$ и не ниже 5° в течение следующих 5 суток. Эти требования дают нижний предел температур в среднем $6,9^\circ$, т. е. они составлены с некоторым запасом.

Определенные требования к температурам бетона предъявлялись на Свирьстрое в течение 10 дней. Но вполне уместен вопрос, зачем в течение 10 дней требовать превышения температуры бетона $+5^\circ$, если прорабу удастся создать благоприятные условия твердения и обеспечить требуемую прочность в более ранние сроки. Невидимому в будущем в результате более детального изучения зависимости между прочностью бетона и температурой его хранения можно не связывать прораба контрольным сроком. Требования к температурам бетона были основными. Данные испытания блочных кубиков были вспомогательными. Кубики приобретали вполне самостоятельное значение в случае неудачного теплового режима. В таких случаях контроль за твердением бетона продолжался до получения удовлетворительного результата испытания кубиков. Испытание блочных кубиков, отметим попутно, происходило после 7-часового выдерживания в теплой воде во избежание ошибочных результатов, так как замерзший бетон способен выдерживать большие нагрузки.

Вышеуказанные требования жестко предъявлялись в случае окончательных поверхностей. Требования для случая блочных поверхностей были снижены, исходя из того, что эти поверхности вскоре перекрывались бетоном прилегающих блоков, находились в лучшем положении и сами по себе представляли меньшую ценность. Здесь мы ограничились прочностью в $70 кг/см^2$, что отвечает средней температуре твердения в 4° . Тепловые требования в инструкции вылились в среднюю цифру нижнего предела температур в $4,5^\circ$.

По производственным условиям необходимо было предусмотреть значительное сокращение контрольного срока для поверхностей блока

в случае бетонировок смежных блоков, к которым нельзя приступить не сняв боковой опалубки с соседнего уже забетоненного блока или не сняв верхнего укрытия с нижнего блока.

Летом распалубку и наращивание блоков разрешалось производить через сутки. Кривые прочностей для этого срока дают 20—28 кг/см². Зимой приходится быть осторожнее. Правда, после забетонирования следующего блока прежний распалубленный блок находится, как будто бы, в лучших условиях, чем если бы он оставался в опалубке, так как соответствующая распалубленная стенка его будет находиться под защитой толстого слоя бетона, но нельзя забывать о том, что непосредственно после распалубливания стенка будет подвергаться некоторое время более или менее сильному воздействию низких температур. В общем для распалубливания и наращивания блоков установлена руководящая прочность бетона 50 кг/см². В соответствии с этой цифрой прочности сроки распалубливания были установлены для различных тепловых режимов в 4 и 3 дня.

Отметим, что сроки распалубки имеют весьма большое значение для производителя работ и для темпов работы. Легко представить, что можно составить дополнительные правила по тепловой защите и по способам содержания распалубленной стенки на время прибегновения соседнего блока, которые предоставили бы возможность прорабу производить распалубку через два дня и даже через один день. Мы пока на эту меру не пошли.

§ 6. Затруднения к обработке полевых данных

Переходим к рассмотрению обстоятельств твердения блоков. При проведении зимней бетонировки на Свирьстрое было поставлено непрерывное наблюдение за процессами остывания бетона в блоках. Наблюдения производились по каждому блоку в порядке правила в продолжение десяти дней, считая от момента окончания бетонировки блока. Специально поставленные для этой цели полевые наблюдатели следили за температурами в различных точках блока и немедленно сигнализировали производителю работ, если появлялась опасность падения температур ниже предписанных инструкцией по зимнему бетонированию. Единичных замеров температур было произведено около 50 000. Обработка этих полевых данных должна дать представление о действительных законах остывания бетонных блоков и должна способствовать уточнению способов проектирования производства зимних бетонных работ.

Необходимо отметить специальные трудности, с которыми приходится встречаться при попытке обработки данных полевых наблюдений. Причины этих трудностей тройкого рода. Прежде всего по целому ряду обстоятельств полевые наблюдения сами по себе менее точны чем наблюдения при лабораторных опытах (менее квалифицированный состав наблюдателей, тяжелые атмосферные условия и т. д.). Кроме того, наблюдения производятся не специально для эксперимента, а в первую очередь для производственных целей. Весьма часто производственные обстоятельства принуждают не считаться с требованиями однообразия соответствующих условий. Например, ценно было бы получить сведения относительно твердения шатровых блоков, которые были бы выдержаны одинаковые сроки я условиях пропаривания, в определенный один и тот же день за-

сыпаны поверху опилками и т. д. Но осуществить эти условия полностью в полевой обстановке чрезвычайно затруднительно. Наконец, по ряду производственных причин невозможно осуществить полноту заполнения карточек полевых наблюдений. Отсутствие некоторых сведений по тем или другим графам долевых карточек обуславливает различие в составе обрабатываемых данных. При исследовании одной зависимости имеем дело с определенным набором карточек, при переходе к рассмотрению другой зависимости набор карточек несколько меняется. Все эти затруднения теряют в силе лишь в случае большего числа наблюдений, связанных с данным вопросом, а в случае малого числа наблюдений часто приходится отказываться от кривых, слабо подкрепленных набором точек. Читателю при своих требованиях к предлагаемому материалу необходимо считаться со специфическими затруднениями автора, всю силу которых может понять лишь тот, кому когда-либо приходилось столкнуться с обработкой подобных полевых данных.

§ 7. Блоки плиты камеры шлюза в тепляке

Блоки плиты камеры шлюза были трех типов: 1) I очередь, 2) II очередь, 3) иногда бетонировались обе очереди сразу. Продольный разрез блоков ясен из рисунка 59, там же дана схема тепляков, применявшихся в сезоне 1931—1932 г. Размеры блоков представлены в табл. 23.

Таблица 23

Размеры блоков плиты камеры шлюза

Размер	I очередь	II очередь	I—II очереди
Ширина, м.....	3,75	3,75	3,75
Длина, м.....	22,5	14,5	22,5
Средняя высота, м.....	3,18	2,07	5,25
Максимальная высота, м.....	4,60	3,00	6,00
Объем, м ³	268,0	112,5	380,5

Блоки, таким образом, были одной и той же ширины 3,75 м. Опалубка блоков была стандартная, т. е. одинарная из досок в 4 см. Состав бетона № 1 с расходом цемента 280 кг/м³. Сведения о тепляках над блоками камеры шлюза даны раньше.

На рис. 00 представлена зависимость температур в тепляке t от температуры наружного воздуха T . Температуры в тепляке в данном случае брались не средние но тепляку за определенный момент, а те, которые замерялись около блоков, находившихся под 10-дневным наблюдением, считая от момента за бетонирования. Здесь даны две системы прямых t_2 и t_{10} . Прямые t_2 отвечают средней температуре в тепляке за первые 2 суток с момента окончания бетонировки, прямые t_{10} — за первые 10 суток. В первые дни от конца бетонирования воздух около бетона получает заметное количество тепла от самого блока и тепло это, естественно, в большей мере сказывается на кривой малого срока. Этим следует объяснить, почему прямые t_2 расположились выше прямых t_{10} . Система прямых имеет разрыв. Левая часть диаграммы составлена для периода с низкими темпера-

турами, правая относится к апрельским дням потепления, когда не производилось нормального отопления в тепляке. Для нас особый интерес представляет левая часть диаграммы. Диаграмма составлена на основе данных с 2/II по 12/IV. За это время в тепляке уложено $10\,737\text{ м}^3$ бетона при средней температуре укладки $+14,8^\circ$ с общей

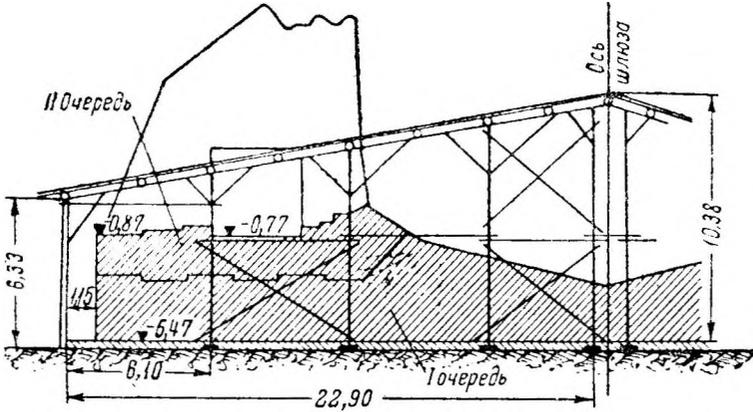


Рис. 59. Разрез блоков плиты каморы шлюза с показанием тепляка.

продолжительностью бетонирования в 1491 часов, т. е. при средней скорости укладки в $7,2\text{ м}^3$ в час. Люки в тепляке располагались по два против нечетных блоков, всего 36 люков. Каждый люк площадью

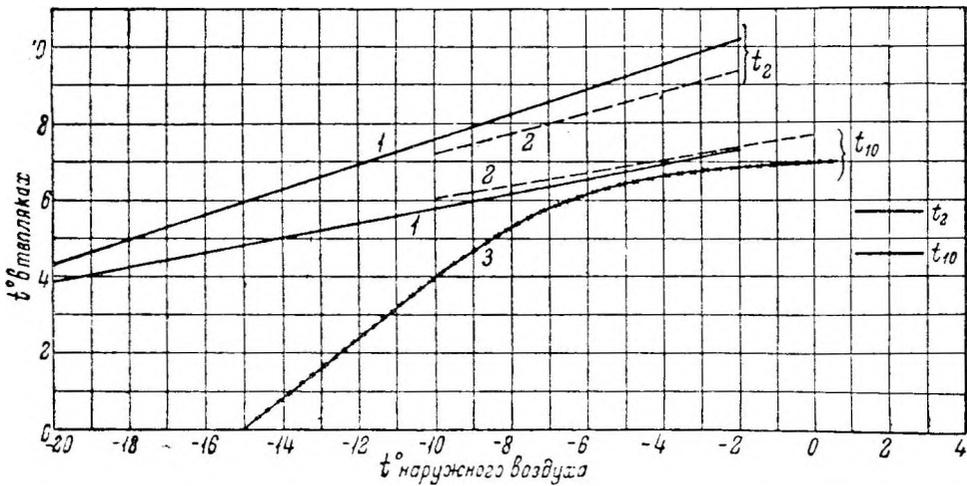


Рис. 60. Средние температуры в тепляках при различных температурах наружного воздуха.

1 — плита каморы шлюза, 2 — нижний канал шлюза, 3 — плотина.

3 м^2 был открыт наруг $1,5$ часа в сутки. Средняя температура тепляка за подконтрольный период была $+0,3^\circ$.

За прошедшие годы некоторые стройки, наряду с облегчением требований к бетонировке без тепляков, начали, почему-то, предъявлять усиленные требования к температуре в тепляке, порядка $8\text{—}10^\circ$. Известно, что даже в прежнее время, когда к бетонированию

зимой приступали в исключительных случаях, требования к температуре в тепляке ограничивали $+5^\circ$. Усиленные требования в данном отношении надо считать излишними. Нам остается лишь показать, что эти требования к тому же трудно выполнимы на практике.

Из рассмотрения диаграммы рис. 60 мы убеждаемся, что массивный и благоустроенный тепляк с объемным коэффициентом 2 не в силах поддерживать такую температуру. Средние за 10 дней температуры у блоков всегда ниже $+8^\circ$. Лишь в первые дни твердения подле самого блока нижняя граница требования выдерживается до -9° наружного воздуха. При усилении же мороза эта температура не достигается в порядке правил и, например, при морозе в 20° температура, в тепляке, держится в среднем на $+4^\circ$.

§ 8. Схема обработки материала

Переходим к рассмотрению результатов обработки наблюдений за температурами в самом бетоне блоков камеры шлюза (всего наблюдаемых блоков 42). Блоки, хотя и бетонировались и твердели в условиях сравнительно теплых температур, тем не менее заслуживают особого внимания, так как число блоков достаточно велико и, что в особенности важно, все блоки в достаточной мере однотипны. На результатах кривых не отразится разнообразие типов блоков и разнообразие некоторых условий твердения. Разнообразные размеры блоков, разнообразные формы блоков, различие в родах тепловой одежды, — все это дополнительные факторы, влияющие на функцию твердения. Выключение этих дополнительных факторов из числа действующих дает возможность легче выявить воздействие остающихся немногочисленных факторов. Итак, нам необходимо рассмотреть, как температура в различных точках бетонных массивов зависит от различных факторов.

Прежде всего необходимо договориться, какой функцией представить изучаемую величину. Если мы попробуем на диаграмме откладывать значения температур в данной точке на 1-й, 2-й и т. д. и, наконец, на 10-й день твердения бетона, то мы получим ряд разнообразнейших температурных кривых за 10-дневный срок по дням. Изучить эту семью кривых и определить, как и в какой степени влияет на температуру в бетоне тот или другой фактор, крайне затруднительно. Необходимо избрать более простую характеристику. В качестве такой характеристики естественно остановиться на средней температуре за 10 дней, т. е. на среднем значении из температур по данному пикету за весь подконтрольный 10-дневный период t_{10} . Наша задача посмотреть, как на t_{10} влияют различные факторы, сопровождающие твердение блоков. Параллельно с этим на основе специальных лабораторных опытов следует уточнить зависимость временного сопротивления бетона от значения t_{10} . Производством двух работ: изучение в лаборатории зависимости $R = f(t_{10})$ и изучение в полевой обстановке зависимости $t_{10} = f(m, n)$, где m, n, \dots различные факторы, влияющие на процесс твердения бетона в блоке, сплосбно раскрыть все особенности зимней бетонировки и определить технически и экономически целесообразные методы проведения зимней бетонировки.

Нельзя обойти молчанием то, что на твердении бетона в наибольшей мере сказываются температурные условия в первые дни твер-

дения. Поэтому, если хотят более точно изучить обстоятельства зимней бетонировки, то наряду с t_{10} следует рассмотреть и значения t_2 . т. е. средние температуры за первые 2 дня, следует установить влияние производственных факторов m , n и на t_2 , а также установить вид закона $R = f(t_2, t_{10})$. Последний закон, кстати сказать, совершенно до сих пор не изучен.

Нам предстоит отыскать, как менялись значения t_2 и t_{10} для различных точек блоков плиты камеры шлюза и посмотреть, какое влияние на величины t_2 и t_{10} оказали различные производственные факторы; различные температуры тепляка T , различие в боковой одежде блока, различие в температурах укладки бетона и различие в размерах блоков.

Введем обозначения для различных точек блоков:

$уп$ — температуры поверхности в углу блока.

$цп$ — температуры поверхности в центре блока,

$0,3 к$ — температура в клине $0,3 м$ в углу, блока,

$1,0 к$ — температура в клине $1,0 м$ в углу: блока,

$0,3 т$ — температура в трубке $0,3 м$ в центре блока,

$1,0 т$ — температура в трубке $1,0 м$ в центре блока,

причем соответствующими значками 2 и 10 будем обозначать, относятся ли температуры к сроку в 2 дня или к сроку в 10 дней.

§ 9. Зависимости температур в бетоне от различных факторов

Чтобы отыскать зависимость температуры точек от температуры укладки была сделана попытка построения диаграмм, в которых по оси абсцисс откладывались температуры укладки, а по оси ординат — температуры точек. Кривые построить оказалось невозможным, так как точки на Диаграммах чрезвычайно широко разбросались в поле диаграмм.

Чтобы определить влияние прилегающего старого бетона, ввели понятие о коэффициенте бетонности опалубки k . Под коэффициентом бетонности опалубки мы подразумеваем отношение площади боковой поверхности данного блока, прилегающей к граням: ранее забетонированных массивов, к полной боковой поверхности блока. По коэффициенту бетонности блоки делились на два рода. Одни со всех сторон были заключены в опалубку ($k_b = 0 — 0,05$), другие бетонировались в промежутках между ранее забетонированными блоками и в них опалубка могла быть лишь с торцов ($k_b = 0,80 — 0,90$). Подсчитали средние значения температур бетона в точках $0,3 к$, $1,0 к$ и $1,0 т$ для обоих родов блоков. Подсчет указывает на влияние k_b . Точки, прилегающие к старому бетону, оказываются в худших температурных условиях, нежели у опалубки. Действие старого бетона сказывается сильнее в первоначальные сроки твердения. В клиньях $0,3 м$ разница для 2 дней достигает 4° . Такой результат, полученный по блокам в тепляке, вполне подтверждает установку инструкции Свирьстроя, требующую при зимней работе блоками в утепленной опалубке без тепляков покрытия верхних поверхностей прежде забетонированных прилетающих блоков соломенными матами на ширину в $1,5 м$ от стыка с данным бетонным блоком.

В отношении влияния размеров блока в соответствии с распространенными взглядами ожидалось более высокие температуры для больших массивов, т. е. для двухочередных и для первой очереди. Это

явление не нашло выражения при подсчете средних значений температур бетона для различных очередей блоков (точки 0,3 к, 1,0 к и 1,0 т). Правда, цифры для различных типов массивов обнаружили некоторое различие, но это различие в цифрах приходится отнести за счет случайности и неточности наблюдений, так как какой-либо закономерности на основе этих цифр усмотреть не удастся. Соотношение объемов трех родов блоков равно: 1 : 2, 5 : 3,5. Для массивных блоков в качестве модуля поверхности блока принимаем отношение объема кладки к величине охлаждающейся поверхности (с учетом и нижней поверхности). Модули поверхности для очередей II, I и I-II соответ-

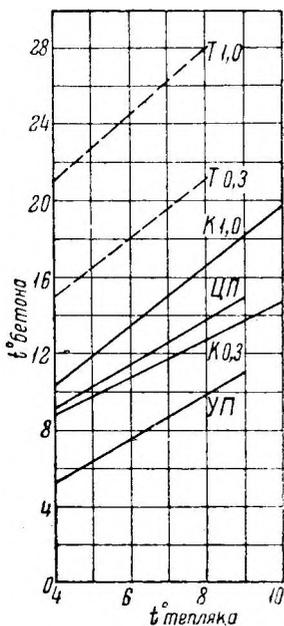


Рис. 61. Блоки плиты камеры шлюза в тепляке. Температуры бетона, средние за 10 дней.

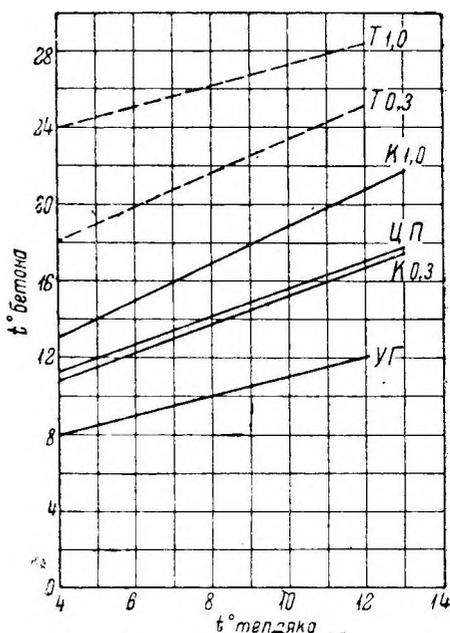


Рис. 62. Блоки плиты камеры шлюза в тепляке. Температуры бетона, средние за 2 дня.

ственно будут равны: 0,58, 0,80 и 0,95 (в среднем 0,83), и их соотношение будет: 1 : 1,38 : 1,04. Итак, несмотря на то, что одни блоки по объему были больше других в 3,5 раза, несмотря на то, что разница в модулях поверхности выражалась в 64%, нам в практических условиях на примере 42 'блоков не удалось отыскать какой-либо разницы в условиях твердения для определенных точек в блоках. Ни клинья, ни трубки 1,0 не показали ощутимой закономерной разницы в средних температурах для различных типов блоков. Надо думать, что если бы трубки во всех случаях продолжались до центра блоков и в частности в блоках I-II закладывались бы до глубины 3,0 м, то мы смогли бы получить практически ощутительную разницу в температурах для таких центральных точек. Но весьма важно, что для рассмотренных типов точек такой разницы установить не удалось.

На рис. 61 дана диаграмма, где по оси абсцисс отложены средние за 10 дней температуры в тепляке, а по оси ординат — средние темпе-

ратуры бетона в различных точках массивов. Средние температуры в тепляке наблюдаются от 4° до 10° . Рассмотрение кривых приводит к следующим выводам:

1) Температуры поверхности при одной и той же температуре воздуха меняются по площади блока с колебанием в 4° , причем максимум, естественно, в центре блока, а минимум в углу (отсюда следует, что при засыпке открытых блоков опилками по верхней поверхности блока необходимо в углах давать большую толщину опилкам).

2) Клинья в углу $0,3$ м в малой степени отличаются по температуре от поверхности в центре.

3) Клинья в углу $1,0$ м идут выше поверхности в центре на $1-2^{\circ}$.

4) Еще выше (на 5°) идет кривая трубок в центре глубиной $0,3$ м.

5) Всего выше, естественно, ложится кривая трубок глубиной $1,0$ м. Разница в температурах между двумя родами трубок $6-7^{\circ}$. Все эти кривые поднимаются вместе с повышением температуры в тепляке.

Установление того факта, что температура в различных точках блока тем выше, чем выше температура окружающей среды, само по себе, не удивительно и не ново. Для нас важно, что мы на практике, в действительных условиях, получили в численном виде эту зависимость для наших блоков и для различных точек этих блоков. Эта зависимость характеризует явление в случае кладки бетона в зимнее время при защите блоков закрытием их вполне благоустроенными тепляками описанного выше вида. Но, вполне понятно, эту же зависимость мы можем отнести и к кладке бетона без тепляков при температуре наружного воздуха $4-10^{\circ}$, т. е. в условиях осеннего времени (для сентября среднемесячная температура $7-8^{\circ}$).

Кривые зависимости температур бетона и температуры среды могут быть получены и на основе теплотехнических расчетов. Здесь наша зависимость, полученная в действительных условиях, может служить к определению поправок на расчет. Знание таких поправок в частном случае представляет большой интерес, так как эти поправки могут быть распространены и на теплотехнические расчеты блоков других типов и, таким образом, способствовать приближению расчета к фактическому явлению. На случай подобных изысканий уточняем положение наблюдательных клиньев, которые располагались не точно в углу, а в некотором расстоянии от угла, а именно клинья $0,3$ м в расстоянии 30 см от угла, а клинья $1,0$ м в расстоянии в среднем $0,40$ м от угла.

Клинья прилежали непосредственно к опалубке. Кроме того, следует иметь в виду большую точность кривых для периферийных точек. Кривые для внутренних пикетов, т. е. для трубок, проведены в условиях сравнительно большой разбросанности диаграммных точек, почему соответствующие кривые и проведены пунктиром.

На рис. 62 дана диаграмма, подобная диаграмме на рис. 61, но относящаяся к температурам, средним за 2 суток. Пределы температуры в тепляке оказываются шире, а именно $4-13^{\circ}$. В сериях кривых t_2 мы находим то же взаимное расположение, что и для t_{10} , но наклон всех кривых меньше. При сравнении обеих диаграмм видим, что кривые t_2 в порядке правила располагались несколько выше соответствующих кривых t_{10} . С повышением температуры в тепляке разница эта уменьшается и в некоторых случаях средние температуры в точках за 10 дней по при повышении средней температуры среды склонны как будто расположиться выше соответствующих температур П.

В связи с полученными результатами для блоков камеры шлюза представляется необходимым рассмотреть блоки нижнего канала шлюза, бетонировавшиеся также в тепляке. Отопление в тепляке было паровое. Тепляк предоставляет бетону условия для твердения, идентичные с условиями тепляка над плитой камеры шлюза, что видно из рис. 60, где пунктирные прямые относятся к тепляку канала. Средняя температура укладки оказалась 15° , т. е. почти такая же, как и в случае блоков камеры. Состав бетона № 1. Рассматриваемый случай отличается от прежде рассмотренного исключительно по геометрическим размерам блоков. Ниже даем некоторые средние по группе характерные цифры: ширина 2,92 м, длина 3,09 м, средняя высота по блоку 1,16 м, максимальная высота 1,42 м, объем $11,75 \text{ м}^3$, модуль поверхности 0,31 м. Блоки по размерам сильно разнятся от блоков камеры. Блоки заметно меньше блоков камеры и по длине и по высоте, ширина также меньше. Наблюдались температуры в бетоне такие: поверхность в углу, поверхность в центре, клин глубиной 0,3 м в углу и трубки 0,3 м в центре. Блоков взято было под наблюдение всего 19.

В табл. 24 даем сравнение температур блоков обеих групп.

Таблица 24

Сравнение блоков плиты камеры и нижнего канала шлюза

Температурные пикеты	Средняя t° тепляка	Средняя t° бетона	Соответствующая бетону по камере шлюза
За 2 дня			
Угловые поверхности.....	7,6	9,5	9,8
Центральная поверхность	7,6	11,3	13,8
Клин 0,3 м.....	7,6	13,5	13,4
Трубка 0,3 м.....	7,6	20,4	21,2
За 10 дней			
Угловая поверхность	6,7	8,1	8,3
Центральная поверхность	6,7	10,1	12,3
Клин 0,3 м.....	6,7	11,0	11,5
Трубка 0,3 м.....	6,7	16,5	19,0

Таблица устанавливает, что точки с наибольшим охлаждением, т. е. $уп$ и $0,3$ к показали температуры, весьма близкие к температурам камерных блоков. Разница для 2, дней укладывается в $0,3^{\circ}$, а для 10 дней максимальная разница $0,5^{\circ}$. Точки, более близкие, к центру, для блоков канала, т. е. для блоков меньшего объема, выказали ускорение процесса охлаждения и температуры для блоков канала меньше на $1-3^{\circ}$.

Таким образом с большей силой выяснилось интересное обстоятельство, выявившееся уже при рассмотрении блоков плиты камеры. Перед нами имеются две группы блоков: более крупные и менее крупные. По всем другим признакам группы блоков ничем друг от друга не отличаются. Соотношение объемов равно примерно 20, а соотношению модулей поверхности 2,7 или примерно 3. Несмотря на значительную разницу в размерах блоков, моста в блоках с наибольшим охлаждением твердели за подконтрольный период в одинаковых темпе-

ратурных условиях и достигли, следовательно, одной и той же цифры временного сопротивления к концу десятого дня. Размеры блока влияют на температурные условия твердения за подконтрольный период в тем большей мере, чем ближе точки к центру.

Полученный нами вывод должен иметь большое значение для проектирования мер защиты бетонных массивов от замерзания при зимней бетонировке, а также и для установления порядка обработки данных наблюдений за остыванием блоков. Необходимо проверить наш вывод по теплотехнической расчетной схеме, чтобы понять причину явления и иметь некоторые суждения о пределах его применения.

§ 10. Порядок остывания

Чтобы получить представление о порядке остывания периферийных точек, рассмотрим вопрос на примере плоскостной задачи. Хотя остывание блоков происходит в трехмерном пространстве, но ведь тепловой поток для каждого элемента можно разбить на три составляющих тепловых потока, параллельных координатным плоскостям. На рис. 63 даны диаграммы остывания для случая бетонных стенок. Одна стенка имеет толщину 0,4 м, другая 0,8 м. Модуль поверхности в данном случае, как это легко видеть, будет как раз толщина стенки. Для стенок построены кривые остывания по способу проф. Шмидта, изложенному в книге проф. Мачинского В. Д., «Теплотехнические основы гражданского строительства», 1933. При построении исходили из характеристик беконной массы, взятых из соответствующего примера проф. Мачинского. Кроме того исходим из того, что бетону придана начальная температура в $+9^\circ$ и что стенка находится в условиях наружной температуры -11° . Кривые на диаграммах дают распределение температур по ширине стенки в определенные моменты времени, считая от момента начала остывания. Вследствие симметричности процесса остывания диаграмма дана для левых половинок стенки. В начальный момент температуры по всей ширине стенки (возьмем к примеру стенку 0,4 м) $+9^\circ$. Через % часа температура поверхности стенки $t_0 = 5,5^\circ$ в расстоянии 2,5 см, температура $t_{0,025} = 7,7^\circ$ и от $t_{0,075}$ до $t_{0,2}$ температуры равны $+9^\circ$. Оказанного достаточно, чтобы разобраться в кривых. Сравнение обеих диаграмм произведем в табл. 25.

Таблица 25

Часы	t_0		$t_{0,1}$		$t_{0,2}$		$t_{0,4}$	
	0,4 м	0,8 м	0,4 м	0,8 м	0,4 м	0,8 м	0,4 м	0,8 м
0	+9	+9	+9	+9	+9	+9	—	+9
7,5	0	0	4,2	4,7	5,8	7,5	—	9
15	-2,8	-1,7	0,4	2,4	1,5	5,4	—	7,7

На поверхности в той и другой стенке процесс идет одинаково.

Через 7,5 часа в обоих случаях достигается 0° и только через 15 часов образуется разница в 1° . По другим ординатам разница по обеим степ-

кам появляется раньше и, например, через 15 часов на расстоянии 0,2 м разница в температурах достигает 3,9°. В начале остывания процесс внедряется в бетон, захватывая все новые и новые слои от по-

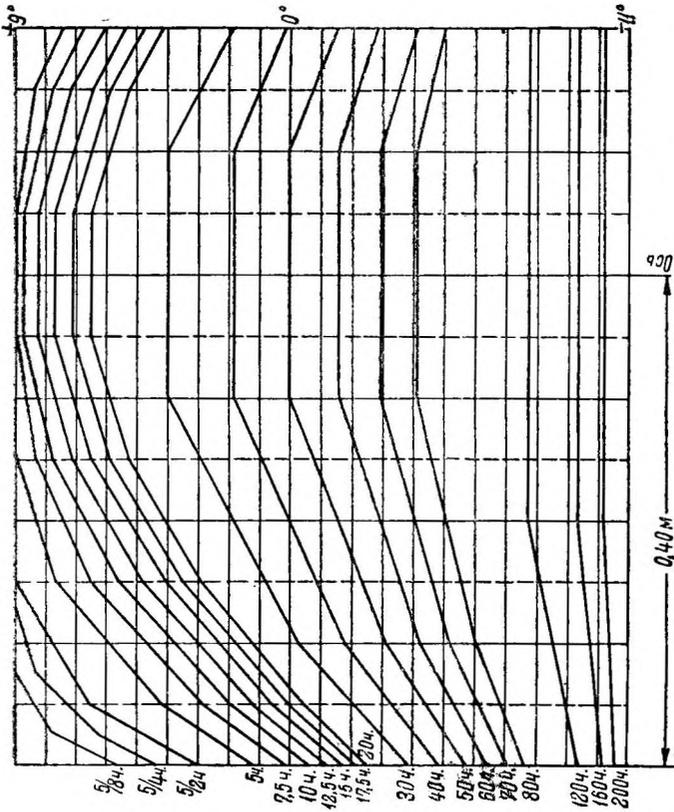


Рис. 63б. Диаграмма остывания бетонной стенки толщиной 0,8 м

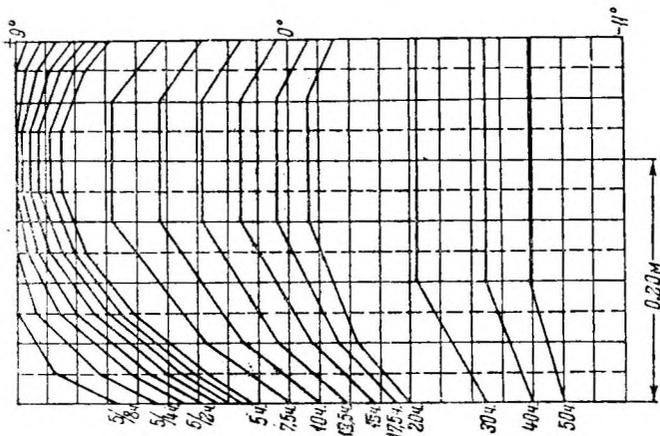


Рис. 63а. Диаграмма остывания бетонной стенки толщиной 0,4 м.

верхности к середине и постепенно замедляясь по мере этого захватывания. Тепло, содержащееся в центральных массах бетона, в начальные сроки в небольшой степени приходит на помощь периферийным слоям. И только в последующие сроки сказывается разница между

толстыми и тонкими стенками. В эти сроки тепло центральных частей замедляет падение температур в поверхностных слоях.

В начальные сроки процесс внедрения мороза в бетон зависит от перепада в температурах, от свойств среды и бетона и не зависит от толщины стенки, т. е. от модуля поверхности конструкции. Модуль поверхности начинает влиять на процесс остывания в последующие сроки, и действие его обнаруживается тем раньше, чем точки ближе к центру. На рис. 64 по оси абсцисс отложено время в часах, а по оси ординат средне-часовая температура на данный час. Знаком t_0 отмечена температура на поверхности, знаком $t_{0,2}$ — температура слоя, отстоящего на 0,2 м от поверхности. Оплошными линиями проведены линии средних температур по обеим стенкам. Из графика в отношении кривых t_0 мы видим, что средняя t_0 (оплошная) до 10 часов вообще не отличается от соответствующих кривых для стенок 0,4 м и 0,8 м и только к 50 часам начинает от каждой из них отходить на $0,85 \approx 1^\circ$. В случае глубоких точек воздействие различных размеров стенок проявляется раньше и средняя $t_{0,2}$ начинает выделяться уже в первые часы и отличается на 1° от соответствующих кривых в 17 часов.

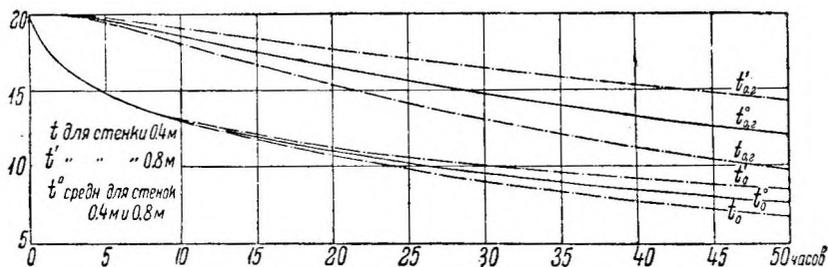


Рис. 64. Кривые температур бетонных стенок, средние за различные сроки.

Теперь мы можем иначе взглянуть на полученные результаты обработки полевых данных, так как ясно, что близкая сходимость цифр в табл. 24 для периферийных точек, для угловой поверхности и клина 0,3 м не случайна, несмотря на значительную разницу в размерах блоков обеих групп. Она отвечает действительным особенностям физического явления, а именно зависимости процесса остывания периферийных точек в первоначальные сроки исключительно от свойств бетонной массы, ограждения и от перепада температур и независимости процесса от размера блоков (по крайней мере для отношения модулей поверхности $1/3 : 1$). Влияние модуля поверхности даже для трубок 0,3 м выражается сравнительно в незначительной мере и мы можем им пренебречь. Все это позволяет считать диаграммы рис. 61 и 62 с достаточной для практики степенью точности отвечающими блокам с модулями поверхности 0,30, 0,95, а также и выше. Исключением является кривая трубок 1,0 м, для уверенного распространения которой на пределы ниже модуля поверхности 0,58 мы не имеем необходимых показаний.

Необходимо сказать несколько слов о двухмерной задаче, которую мы решали на моделях, отказавшись от расчетов вследствие их крайней сложности и кропотливости. Схема одного из опытов показана на рис. 65. Диаграмма t_0 и t_{10} , изображенная там же, подтвердила прежние размышления. Не останавливаясь специально на опытах с моделями,

отметим, что опыты с моделями вследствие их простоты и наглядности, невидимому, должны явиться интересным и важным мероприятием при изучении явлений остывания блоков, наряду с расчетными приемами и с обработкой полевых наблюдений. Обратим, например, внимание на легкость получения диаграммы изотерм (рис. 65). Необходимо также упомянуть, что опыты с моделями подчеркнули важное значение геометрических форм периферийных частей блоков. Например,

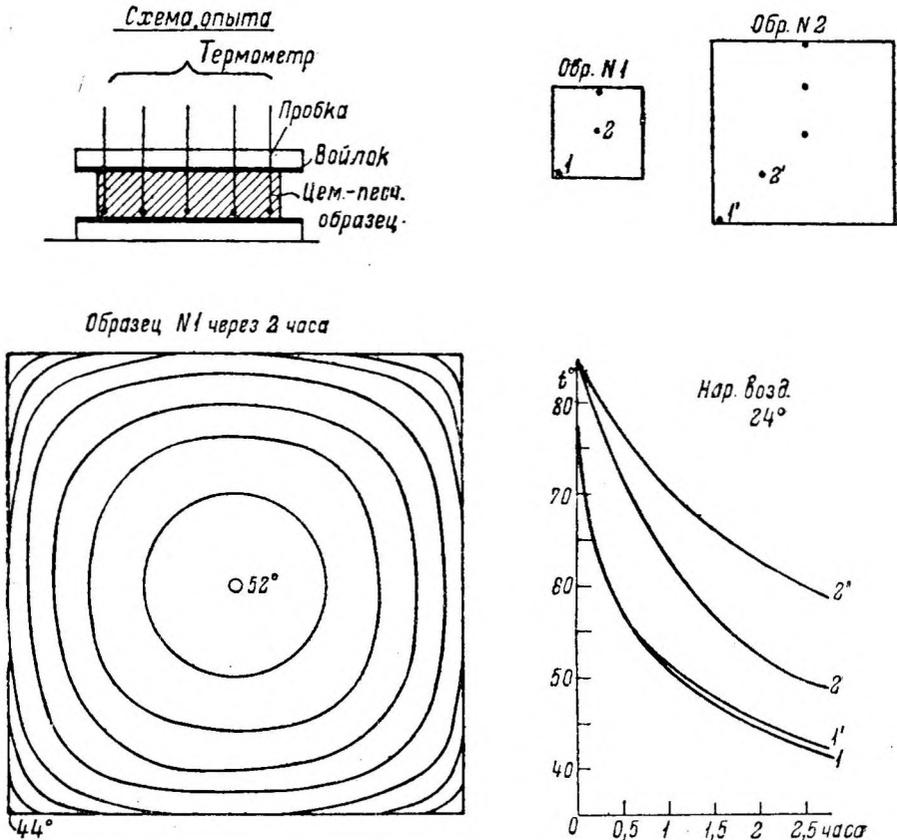


Рис. 65. Опыты с моделями.

средняя температура за определенный срок в углу зависит не только от размера первоначального перепада температур, от свойств бетонного массива и ограждения, но и от величины в градусах самого угла. Острые углы, как это легко догадаться, при прочих равных обстоятельствах дают более низкую температуру, нежели тупые, и, по-видимому, в некоторых случаях разница может достигнуть заметных величин. Поэтому, возвращаясь снова к вопросу применимости диаграмм рис. 61 и 62, необходимо иметь в виду, что кривые угловых поверхностей, клиньев 0,3 м и даже клиньев 1,0 м, строго говоря, приложимы к случаям углов блоков, имеющих очертание параллелепипеда (к прямым пространственным углам).

§ 11. Способы расчета остывания блоков

Некоторые из устанавливаемых вами положений теплотехнику могут показаться элементарными. Но, по-видимому, обстоятельства зимней бетонировки столь сложны, что эти положения в данном случае нуждаются в утверждениях. Здесь рассмотрим важный вопрос, о расчетах остывания блоков в том виде, как они предлагаются большинством современных руководств. Принципиальные установки предлагаемых расчетов представляются в следующем виде:

1) Определяется запас тепла в блоке, обусловленный подогревом бетона и экзотермией — Q .

2) Определяется ожидаемая средняя теплопотеря за одни сутки q , причем при расчете в качестве ограждения вводится и наружный слой бетона толщиной 45 см.

3) На основании полученных данных определяется период остывания

$$t = \frac{Q}{q}.$$

4) Производится расчет состава бетона, который к концу периода остывания t обеспечит бетону заданную прочность.

Кань мы видим, приведенная расчетная схема оперирует с средними величинами. На самом же деле физический процесс в отдельных своих частях может далеко отходить от средних цифр. Сущность явления в целях наглядности покажем на простейшей основе, а именно на диаграммах рис. 63. Простейшими прикидками можно определить, что стенка 0,4 м достигнет температуры 0°, средней по толщине стенки, приблизительно через 15 часов, а стенка 0,8 м приблизительно через 45 часов. Таким образом усредненный процесс остывания находится в прямой связи с величиной модуля поверхности, но к указанным срокам, как это легко видеть из рассмотрения соответствующих кривых остывания, стенка 0,4 м промерзнет на толщину 10 см, а стенка 0,8 м на толщину 20 см. Нулевые же температуры на поверхности будут достигнуты раньше, а именно через 7,5 часов. Если бы мы при расчете в качестве ограждения ввели некоторый слой бетона, то этим ухудшили бы дело. Итак, на элементарной схеме мы наглядно видим, к каким последствиям может привести расчет по средним температурам. Нет никакой нужды сложными теплотехническими расчетами показывать, что и в трехмерном блоке при приближении к замерзанию блока, в среднем, будет иметься широкая дифференциация температур по блоку, и большие массы замерзшего периферийного бетона окажутся при теплом ядре. Всякий, кому приходилось промерять температуры в замерзшем блоке, в том убеждался с очевидностью. Об этом не приходилось бы говорить, если бы усредненные способы расчетов не предлагались к употреблению для массивных гидротехнических блоков. Мы должны сказать, что расчеты по средним величинам в свое время сыграли важную роль как (первая попытка расчета остывания бетона, но они должны быть отставлены. Они не дают никаких гарантий против дефектного промерзания периферийных слоев блока. Подобное положение совершенно не подходит для ответственных массивных частей в гидротехническом строительстве. В частности, отслаивание испорченных слоев бетона в наружных частях, работающих на водонапор или на переливание воды, совершенно недопустимо. На Свирьстрое известен один случай преждевременного промерзания бетона в слое, примыкающем к боковой опалубке. По снятии опалубки дефектный слой при

пробе отлетал под ударами лома. Стенка была наружной, и ее оставили до лета без ремонта. Летом снова произвели ударную пробу, и она показала отслаивание наружных слоев. Дефектные места пришлось выбить без остатка и заделать бетонной вставкой в виде ласточкина хвоста.

Итак, при проектировании остывания массивных блоков необходимо отходить от усредненных способов расчетов и расчетов, в основном исходящих из модуля поверхности. Необходимо переходить к расчетам, учитывающим геометрическую форму блоков и особенности этой формы, как то: углы, свесы, выступы и пр., и основной целью расчета следует поставить определение срока замерзания периферийных слоев и усиление тепловой защиты их, чтобы избежать случаев дефектных промерзаний. Ясно, что рассмотрение результатов остывания в полевой обстановке бетонных 'блоков, систематический подбор данных по остыванию в различных точках блоков, твердеющих в различных производственных условиях, должны явиться важным подспорьем при разработке новых методов расчета.

§ 12. Распределение прочностей по блоку

Используем диаграммы рис. 61 и 62 для того, чтобы составить мнение о распределении прочности бетона по блокам в течение 10-дневного срока твердения. При переходе от температуры в прочности прибегнем к помощи формулы:

$$R = \frac{R_{ц}}{AKw^a} \left(\frac{T + T_1}{2 \cdot 15} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (13)$$

Формула взята из сборника инж. Вавилова и инж. Совалова, «Зимние строительные работы», 1932. Обозначения здесь такие: $R_{ц}$ — активность цемента, A — коэффициент, зависящий от срока твердения, а именно: при 28 днях — 3, при 7 днях — 6, при 5 днях — 8 и при 3 днях — 12, K — постоянный коэффициент, R — прочность бетона, T — начальная температура, T_1 — конечная температура, a — степень, зависящая от срока твердения бетона, а именно: при 28 днях — 1,5, при 7 днях — 2, при 5 днях — 2,1 и при 3 днях — 2,3. Средняя прочность бетона через 28 дней, согласно результатам испытания в лаборатории контрольных кубиков, ежедневно набивавшихся в целях контроля за продукцией бетонного завода и хранившихся в нормальных условиях при 15°, оказалась за исследуемый период равной $R = 175 \text{ кг/см}^2$, водоцемент-

ное отношение в среднем $w = 0,56$. Приравняем $\frac{T + T_1}{2} = t_{10}$. Найдем отношение 10-дневной прочности бетона при температуре хранения 15° к прочности нормальной через 28 дней:

$$\frac{R_{10}}{R_{28}} = \frac{3 \cdot 0,56^{1,5}}{4,7 \cdot 0,56^{1,87}},$$

где 4,7 и 1,87 — значения коэффициентов A и a для срока твердения в 10 дней, полученные путем графической интерполяции. Произведя выкладки, имеем:

$$R_{10} = 139 \text{ кг/см}^2.$$

Переходим к температуре t_{10} и получаем

$$R_{10} = 139 \left(\frac{t_{10}}{15} \right)^{\frac{1}{2}}. \tag{14}$$

На основании формулы (14) составляем табл. 26

Таблица 26

t_{10}	R_{10}	t_{10}	R_{10}
5°	80,2 кг/см ²	20°	160,4 кг/см ²
10	113 »	25	179,1 »
15	139 »	30	196 »

и прочерчиваем по этим данным кривую (сплошную) на рис. 66. Кривая эта дает возможность обработать данные диаграммы рис. 61 и построить диаграмму на рис. 67 (сплошные линии), из которой видно, как прочность бетона меняется по блоку в зависимости от температуры окружающего воздуха.

Таким же образом строим диаграмму для срока в 2 дня. Прочность бетона при нормальном хранении $R_2 = 60 \text{ кг/см}^2$. Коэффициенты A и a для срока в 2 дня найдены методом графической экстраполяции и определились соответственно в 17 и 2,65.

Кривые зависимости прочности 2-дневного бетона от температуры окружающего блок воздуха даны на рис. 67 пунктиром. Рассмотрение диаграммы приводит к выводу, что и к концу 2 дней и к концу 10 дней прочность бетона в центральных частях блока по сравнению с прочностью бетона в углах выше, при наружной $t = 4^\circ$, на 80—100%. При соответствующем повышении температуры наружного воздуха разница спадает до 50—70%.

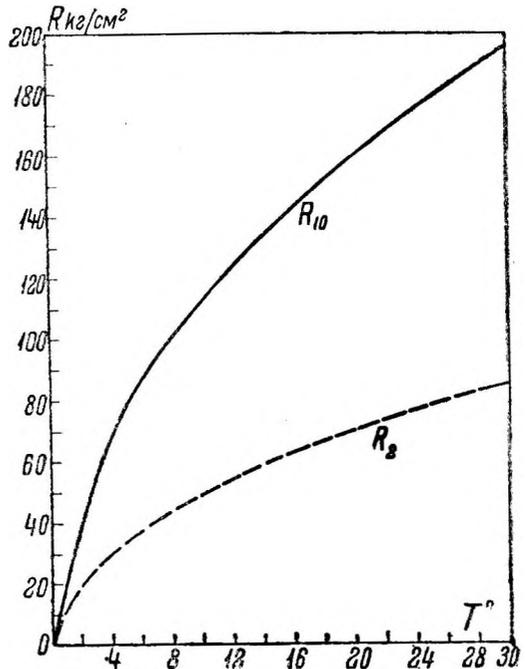


Рис. 66. Зависимость R_{10} и R_2 от температуры бетона.

Диаграмма представляет интерес, как одна из первых попыток представить более или менее точное распределение прочностей по массе массивных блоков, бетонирующихся или в тепляках, или без тепляков в условиях умеренных температур наружного воздуха. Ближайшие условия применимости диаграммы — массивные блоки, имеющие очер-

тания, близкие к параллелепипеду с прямыми или почти прямыми углами, поверхность блоков открыта, боковая опалубка толщиной в 4 см, температура укладки бетона в среднем 15° (10—20°), расход цемента около 280 кг/м³, нормальная прочность бетона, через 28 дней 175 кг/см².

§ 13. Температурный график по дням

Мы раньше отказались от изучения единичных температурных графиков, которые получаются

для блока при откладывании на диаграмме температур блока по дням. Эти графики ничего не дают для выводов, так как они в своем изменении следуют за беспрерывно меняющейся температурой в тепляке и на них так или иначе отражаются в сильной степени все неточности полевых наблюдений. Но можно, отказавшись

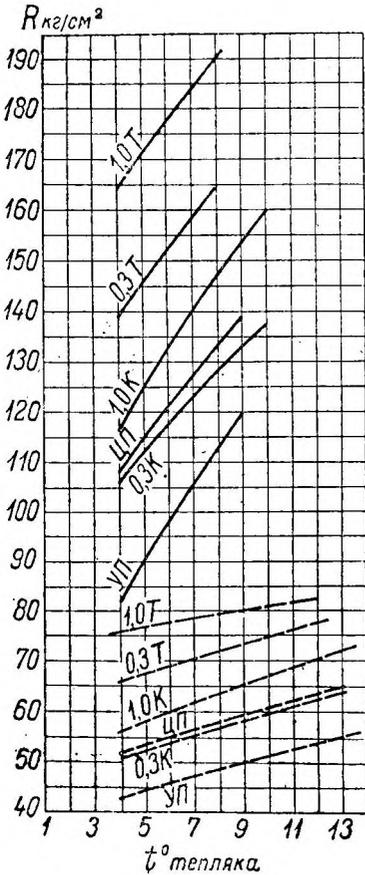


Рис. 67. Прочность бетона в различных точках блока по истечении 2 и 10 дней в зависимости от температуры среды.

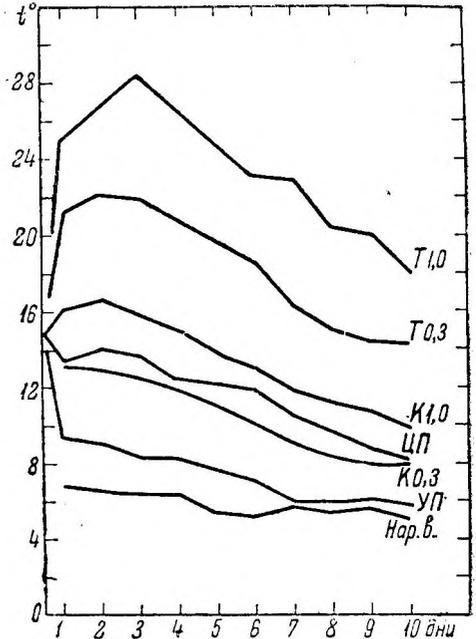


Рис. 68. Блоки плиты камеры шлюза, в тепляке. Средний температурный график по дням.

от использования единичных графиков, достроить для группы блоков средний график изменения температур блока по дням. Такой график при достаточном, числе блоков в группе в большой мере будет освобожден от влияния неточностей наблюдений, и он в состоянии показать, как меняются температуры блока по дням, но, правда, только для одного определенного случая изменения температур в тепляке. График температур наружного воздуха для него бу-

дет средний из графинов группы. На рис. 68 представлен график изменения по дням средних температур блока и тепляка для случая блоков плиты камеры шлюза. На диаграмме снизу дана кривая изменения средней температуры в тепляке. Средняя температура в тепляке слабо колеблется на протяжении 10 дней и в среднем для рассмотренных блоков оказалась 5,7—6°. Кривые температур в точках блоков расположены тем выше, чем ближе точка к центру блока. Средняя температура укладки была + 14,5°. Эта температура в первый день (через 12 часов после окончания укладки) сохранилась в вертикали, проходящей через центр блока где-то на глубине в пределах 0—0,30 м от поверхности блока. На поверхности повсюду и в угловых клиньях 0,3 м температуры в первый день оказались ниже температуры укладки, в центральных трубах 1,0 и 0,3 м и в угловых клиньях 1,0 м оказались выше. Все кривые с течением времени надают, стремятся к температуре тепляка и падшие их замедляются к концу периода. В конце подконтрольного периода минимальная температура поверхности, т. е. угловая, немногим отличается от температуры среды. Максимум нижних кривых приходится на первый день. О приближении точек к центру максимумы отодвигаются и для центральных трубкой глубиной 1,0 м максимум приходится на 3-й день, т. е. через 60 часов.

§ 14. Распространенный случай кладки в тепляках

По сравнению с другими тепляками, тепляк, над блоками плиты камеры шлюза представлял для твердения бетона наилучшие условия; к этому было, несколько причин. Главнейшие причины — это малая высота тепляка и его заглубленное расположение. В высоких тепляках тепло уходит вверх и в них обычно трудно бывает поддерживать высокую температуру при кладке нижних слоев бетона. При открытом расположении тепляка приходится бороться с выдувающим действием, ветра. Этих ухудшающих дело факторов не было в тепляке шлюза. К тому же простота и однообразие форт блоков позволили осуществить простую и солидную конструкцию тепляка, а близость кочегарки позволила обеспечить хорошую подводку пара в трубы парового отопления. Так или иначе опыт убеждает нас, что чаще всего тепляки сохраняют тепло хуже, чем рассмотренный нами тепляк шлюза. К примеру остановимся на тепляке плотины. Тепляк был сравнительно на открытом месте и имел высоту около 20 м и печное отопление. На рис. 60 дана зависимость температуры в тепляке от температуры наружного воздуха. Кривая обозначена цифрой 3 и дает средние температуры за 10 дней. Из рис. 60 мы видим, что при малых морозах тепляк мало чем уступает тепляку шлюза. При усилении морозов тепляк плотины начинает слабо держать тепло. При морозе 15° (среднем за 10 дней) в тепляке средняя температура 0°. Директивная для тепляков температура окружающего блок воздуха 4°, отри которой в самом слабом месте блока держится в течение 10 дней средняя температура в бетоне + 5°, отвечает в данном случае температуре наружного воздуха —10°. Другими словами, тепляк при морозах выше 10° работает недостаточно хорошо.

На рис. 69 даем зависимость между температурой в тепляке и температурами в бетоне для точек up и $0,3k$ (средней для 10 дней). Кривые даны сплошной линией. Для сравнения там же пунктиром проведены соответствующие кривые для блоков в тепляке шлюза. Число

рассмотренных блоков 22. Средние данные по блокам таковы: высота 2,2 м, ширина 6,6 м, длина 10,2 м, объем 145 м³, модуль поверхности 0,67, коэффициент бетонности 0,43, температура наружного воздуха при укладке средняя из средних да блокам — 5,2° (наименьшая средне-блочная — 10,9°, наименьшая единичная наблюдаемая — 21°), температура укладываемого бетона 14,5°, температура постели блока 7,9°, почасовая укладка бетона 7,3 м³, почасовое приращение высоты блока 12,4 см. Сопоставление рис. 60 и рис. 69 убеждает нас наглядно, что тепляк плотины вполне хорош до средней температуры наружного воздуха (— 10°) — (— 12°). При больших морозах необходимо применять в тепляке какие-либо покрытия поверхностных блоков, чтобы сохранить среднюю температуру на поверхности не меньше +5°.

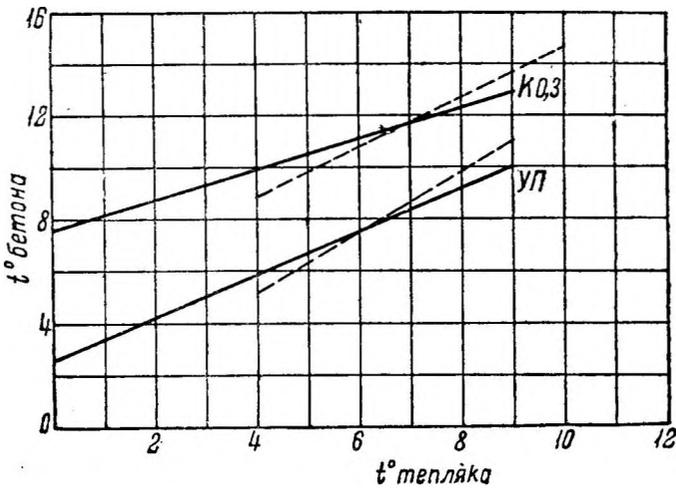


Рис. 69. Блоки плотины в тепляке. Температуры бетона средние за 10 дней.

Приведем еще два примера тепляков. В ту же зиму был сооружен, большой тепляк на силовой станции кубатурой 20 000 м³. Обогрев этого тепляка встретил весьма большие затруднения. Тепляк был высокий, подвод пара был издалека, тепляк стоял открыто, деррики для подачи бетона и арматуры в тепляке расположились так, что при работе с ними приходилось широко раскрывать тепляк. В результате солидное сооружение с солидными перекрывающими фермами не удалось использовать полностью, и бетон укладывался большей частью по способу утепленных опалубок. В предыдущую зиму 1930—1931 гг., как уже упоминалось раньше, на строительстве было поставлено несколько больших тепляков с общей кубатурой свыше 60 000 м³. В этих тепляках вынимали грунт и укладывали бетон нижних слоев сооружений. Всего уложено бетона около 30 000 м³. Отопление было везде паровое. Температура держалась на уровне 0 — (+2°), в среднем +1°. Попутно отметим, что часть тепляков была окончательно собрана под весну к 1/IV, а их разобрали ввиду наступления тепла и, таким образом, не использовали.

Приведенные нами примеры и сведения с других построек говорят о немалых затруднениях, с которыми строителю приходится встречаться при стремлении к поддержанию соответствующих температур в тепляках.

§ 15. Блоки с утепленной опалубкой

Строители давно учитывали отрицательные стороны тепляковой кладки бетона. Недаром за последние годы, когда строительные темпы вынуждали к зимней кладке бетона, начали усиленно дебатироваться и пропагандироваться методы зимней бетонировки без тепляков, бетонировки в утепленных опалубках. Достаточно ясных сведений о работе-

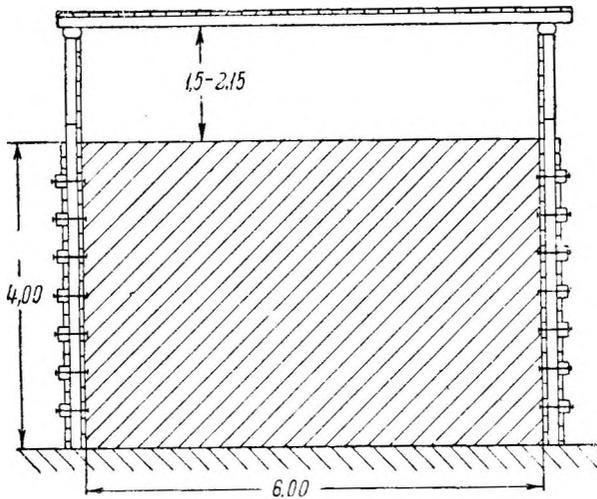


Рис. 70. Шатровый блок.

утепленных опалубок имеется весьма мало. Понятно, что результаты наблюдений за поведением бетона в блоках с утепленной опалубкой представляют особый интерес.

Наибольший интерес привлекают к себе блоки с утепленной опалубкой и с активной теплозащитой верхних поверхностей. Активная теплозащита верхних поверхностей блоков на Свирьстрое преимущественно выполнялась посредством шатрового укрытия. Производственные достоинства шатра отмечены нами раньше. Здесь мы даем типовой чертеж, шатрового блока (рис. 70). Опалубка шатрового блока обычно была не стандартная, один ряд досок 4 см, а усиленная. На чертеже на вертикальные доски-стойки опалубочного звена набит с внешней стороны второй сплошной ряд досок в промежутках между горизонтальными брусками. Стойки звена наращиваются кверху коротышками, которые служат для образования стенок шатра. Крыша шатра образована рядом досок, положенных на поперечных брусках. Доски могут лежать и не впритык, так как они могут быть перекрыты толем. Изредка вместо дощатой крыши клался брезент. Свободная высота шатра 1,50—2,15 м. В преобладающем числе случаев отопление шатра производилось посредством переносной печки-временки или посредством пропаривания из шланга. Изредка применялись трубы парового отопления

Рассмотрению было подвергнуто 70 шт. блоков шатрового типа. Средние цифры, характеризующие блоки, оказались такими: высота 3,0 м, ширина 3,8 м, длина 12,8 м, объем 109 м³, модуль поверхности 0,62, коэффициент бетонности 0,14, температура укладки бетона 15,8°, температура наружного воздуха —9,7° (наименьшая среднеблочная —20°, наименьшая единичная наблюдаемая —29°), температура постели 10°, продолжительность бетонирования 19 часов, почасовая укладка бетона 6,9 м³, почасовое приращение высоты блока 18 см. Тепловое усиление опалубок производилось различными способами. Состав рассматриваемой группы блоков по опалубке ясен из рис. 71. В обозначениях опалубок буква *Д* отвечает дощатому слою или нормальному, или набиваемому с наружной или внутренней стороны опалубочного

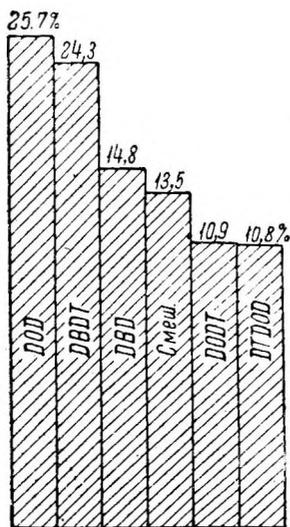


Рис. 71. Типы опалубок в шатровых блоках.

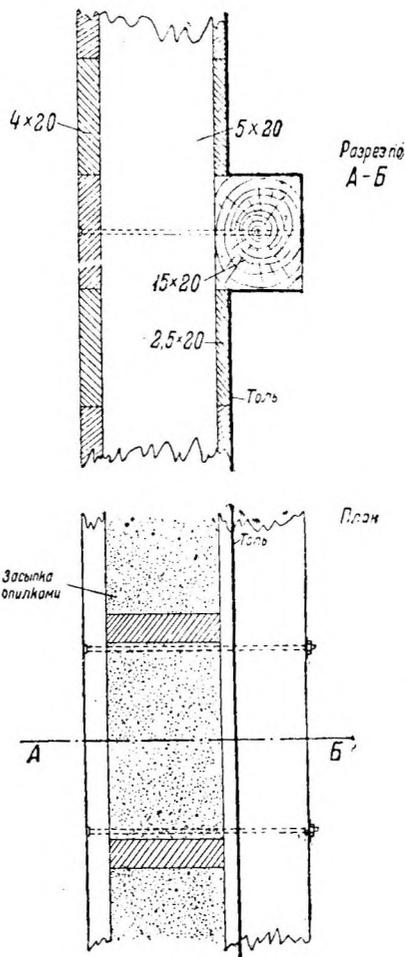


Рис. 72. Опалубка ДОДТ.

звена. Буква *О* отвечает слою опилок, засыпаемых в полость, образовавшуюся нормальным дощатым рядом и дополнительным рядом досок, набиваемых с внешней стороны опалубочного звена по вертикальным доскам в промежутках между горизонтальными брусками. Буква *В* отвечает воздушному слою, заполняющему вышеуказанную полость опалубочного звена, если эта полость не засыпалась опилками. Буква *Т* обозначает толевый слой. Слои в обозначении типа опалубки указаны от внутренней стороны к внешней. Например, опалубка *ДТДОД* образуется набивкой досок снаружи с засыпкой опилками и набивкой слоя голя и досок изнутри. Блоки, отмеченные обозначением *СМЕШ*, имели

по различным граням различные типы усиленных опалубок или дополнительные усиления углов. На рис. 72 дан для примера чертеж опалубки ДОДТ.

При разборе результатов наблюдения было бы крайне интересно рассмотреть процессы твердения отдельно для различных типов опалубки. Например, поучительно сравнить опалубки ДОД и ДВД, т. е. опалубки с двумя слоями досок и о заполнением полости в одном случае опилками и в другом воздухом. Попытка построения кривых твердения для отдельных типов опалубок не привела ни к чему. Указанные типы опалубок в производственной обстановке, невидимому, не на столько сильно разнятся друг от друга, чтобы эта разница отразилась на кривых твердения при данном количестве блоков. Обработке были подвергнуты результаты наблюдения по всем 70 блокам сразу. Таким образом, строго говоря, полученные диаграммы отвечают какому-то среднему случаю опалубок.

Практически же, диаграммы в достаточной мере характеризуют шатровые блоки с усиленной опалубкой. Средние условия, в которых находились верхние поверхности блоков, представлены диаграммой рис. 73. Кривая *ОТ* дает число блоков, которые за данный день отоплялись, например в первый день на круг отоплялись печками или паром из шлангов) 61% шатров. Кривая *ОП* дает число блоков, поверхность которых засыпалась опилками как раз в данный день. Например, за первый день покрыты опилками поверхности 15% блоков. Кривая *РАЗ* показывает число блоков, на которых раскрыт или разобран шатер. Например, на первый день не разобрано ни одного шатра, а на второй день разобрано 1,17 \approx 1% шатров. Мы видим, что шатры отапливались преимущественно в первые 5 дней, причем за подконтрольный — 10-дневный период шатры обогревались в среднем 2,7 или кругло 3 суток. Блоки начинали покрываться опилками (слой 10—15 см) с первого дня. Некоторые блоки покрывались и вторым слоем опилок, и сумма процентов для случаев засыпок по дням получилась не 100, а 129%. Разборка щитов происходила на всем протяжении подконтрольного периода, за исключением первого дня, и к концу подконтрольного периода раскрыто было всего 55% шатров.

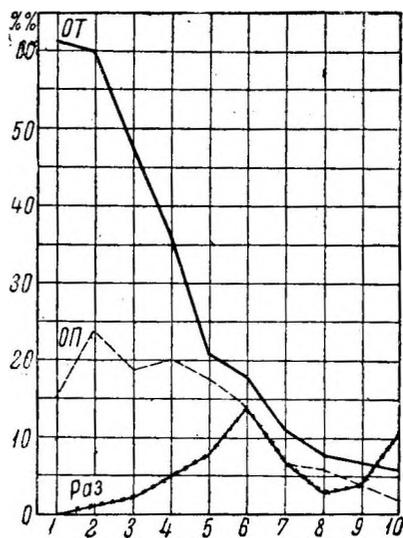


Рис. 73. Характеристика верхней теплозащиты шатровых блоков.

На рис. 74 и 75 даны кривые остывания бетона блоков в зависимости от температуры наружного воздуха. На диаграммах мы не видим параллельного расположения кривых, которые указаны на диаграммах для блоков в тепляке камеры шлюза. Кроме того, кривые частично менялись местами. Например, для 2-дневной диаграммы мы замечаем, что кривая *цп* поверхности в центре расположилась выше 1,0 к, а при остывании блоков с незащищенной верхней поверхности взаиморасположение кривых обратное. Здесь оказывается действие печек-временок, располагавшихся: преимущественно посредине блока. Чтобы сравнить полученные кривые с соответствующими кривыми для блоков

тепляков (рис. 61 и 62), необходимо вторые кривые также отнести к температурам наружного воздуха, а не тепляка. К этому мы имеем полную возможность благодаря зависимости кривых температур тепляка и наружного воздуха (рис. 60).

Например, точки шатровых блоков для наружной температуры — 20° можно сравнивать с точками тепляковых блоков для температуры в тепляке $+4^{\circ}$. Что касается шатровых точек для 0° , то мы взяли для сравнения в тепляках температуру $+10^{\circ}$ для десятидневных кривых, применяя частичную экстраполяцию кривых, и $+8^{\circ}$ для двухдневных. Сравнение даем в табл. 27.

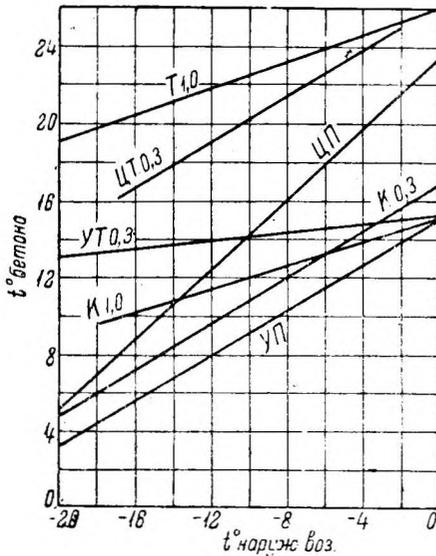


Рис. 74. Шатровые блоки. Температуры бетона, средние за 10 дней.

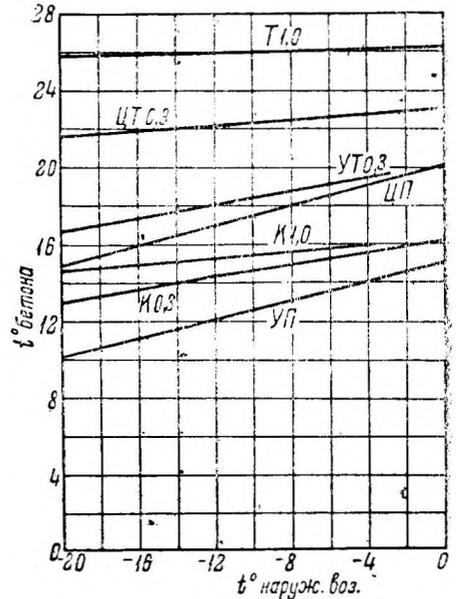


Рис. 76. Шатровые блоки. Температура бетона, средние за 2 дня.

Просматривая таблицу, между тепличными блоками и блоками с усиленной опалубкой и с активной верхней теплозащитой резкой разницы мы не замечаем. В начальные сроки, невидимому, тепловое состояние бетона лучше для шатров. В поздние сроки шатры слегка уступают теплякам. Следует считать на основании данных таблицы, что бетонирование зимой блоков в усиленной боковой опалубке с применением верхней тепловой защиты может выступать наравне с бетонированием блоков в тепляках до средней температуры наружного воздуха — 20° , если при зимнем бетонировании заботятся дать в бетоне, в наиболее слабых местах блоков (но верхней поверхности), среднюю температуру не ниже $4-5^{\circ}$. Конечно данное положение относится к определенным, представленным нами типам бокового и верхнего закрытия и к определенным, другим указанным выше условиям. На рис. 76 даны кривые временных сопротивлений в зависимости от возраста бетона. Кривая БЗ составлена на основании результатов контрольных испытаний бетона (бетон брался с бетонного завода, образцы хранились в лаборатории при температуре $15-20^{\circ}$), кривая Т построена на основании результатов испытания кубиков, хранившихся в тепляках

Таблица 27

Сравнение температур бетона для блоков в тепляках и для блоков утепленных опалубок (шатровых)

№ по пор.	Температура пикета	Срок — сутки	Тепляки		Утепленные опалубки		Примечания
			— 20°	0°	— 20°	0	
1	шт	2	8	10	10	15	<i>t</i> в шатре выше за исключением <i>t</i> для 10 дней в сильные морозы
		10	5	12	3	15	
2	шт	2	11	14	15	20	То же
		10	9	16	5	23	
3	0,3 к	2	11	14	13	16	То же
		10	9	14,5	5	17	
4	0,3 шт	2	—	—	17	20	Выше, чем 0,3 к
		10	—	—	13	16	
5	1,0 к	2	13	17	14,5	16	<i>t</i> в шатре в общем ниже
		10	10	18,5	9	15	
6	0,3 шт	2	18	21,5	21,5	23	<i>t</i> в шатре выше за исключением <i>t</i> для 10 дней в сильные морозы
		10	15	24	14	26	
7	1,0 шт	2	24	26	26	26	<i>t</i> в шатре в общем ниже
		10	21	32	19	26	

плиты камеры шлюза, на блоках. Кривая III получена в результате испытания кубиков, хранившихся на поверхности шатровых блоков.

Кривая III до 10-дневного срока не отходит заметно от кривой T. На-

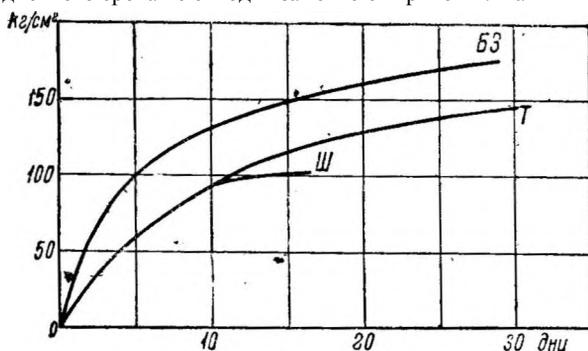


Рис. 76. Временное сопротивление контрольных и блочных кубиков.

падает она резко идти ниже после 10 дней, когда шатровые блоки оставались без надзора и без тепловой заботы. Рис. 76 в известной мере подтверждает наше положение о равноценности тепличных и шатровых блоков для определенных вышеуказанных условий.

Вместе с тем нельзя пройти мимо того, что диаграммы рис. 74 и 75

и соответствующие цифры табл. 27 представляют собой определенные усредненные данные. Например, никто не может гарантировать, что в шатровых блоках средняя температура поверхности за 10 дней не опустится ниже $4-5^{\circ}$, если только не будет проявлено усиленного и систематического присмотра за блоком и своевременных мер по теплозащите. То же положение действительно в известной мере и по отношению к тепляковым блокам. Но ясно, что если в случае тепляковых блоков тепловая забота может ограничиться лишь убеждением в соблюдении установленных норм к температуре воздуха в тепляке, то

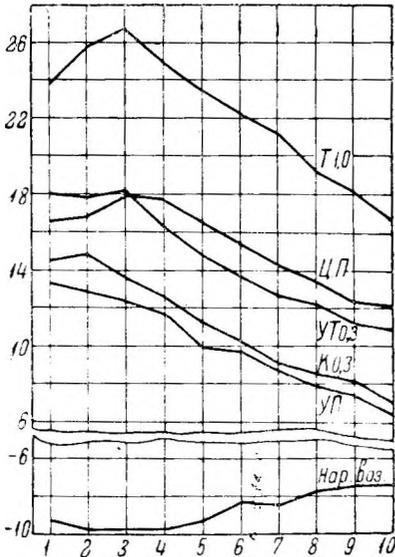


Рис. 77. Шатровые блоки. Средний температурный график по дням.

в случае шатровых блоков забота должна быть всесторонней и более напряженной. При недостаточном внимании и некотором упущении не трудно потерять требующуюся температуру, в частности на поверхности блока. Возможности же к сохранению температуры на поверхности и в клиньях 0,3 безусловно имеются в продлении срока отопления шатра. Путем усиления отопления, в частности, можно улучшить положение угловых поверхностей, так как на Свирьстрое средние температуры за 10 дней угловых поверхностей слишком приближались к нижнему пределу.

Обратим внимание на данные таблицы по точкам, удаленным от центральных масс блока и от мест с активной теплозащитой. Такой точкой является клин 1,0 м, находящийся в расстоянии около 0,4 м от угла. Показания для этой точки, в общем, склонны быть ниже в случае шатровых блоков. Такая тенденция должна проявиться еще сильнее в ребрах угла на больших расстояниях от верхней поверхности. И можно сомневаться в удовлетворительном состоянии точек, наиболее удаленных от поверхности, т. е. нижних точек ребер блока. На Свирьстрое систематические наблюдения за этой точкой не проводились. Отрывочны наблюдения, наблюдения по отдельным блокам, говорят о сравнительном благополучии здесь. Кривой из-за небольшого числа наблюдаемых блоков построить не удалось, но средние температуры за 10 дней ложились не ниже кривой для 0,3 к. Наблюдения производились над блоками, укладываемыми на постель, предварительно прогретую до $+10^{\circ}$, и в средние температуры наружного воздуха за 10 дней до -15° . При организации бестепляковой кладки в похожих условиях следует наладить проверку теплового состояния нижних точек ребер блоков, во всяком случае при морозах 15° и выше. При отсутствии систематического присмотра следует на всякий случай при больших морозах дополнительно утеплять нижние углы блоков. На рис. 77 даны средние графики температуры по контрольным точкам блоков и средний график наружных температур.

Мы сравнительно подробно остановились на шатровых блоках с усиленной опалубкой. На Свирьстрое применялись и другие типы

бестепляковых блоков: 1) блоки с усиленной опалубкой, без шатров, с верхним укрытием в виде соломенных матов, толя по доскам и т. п. и с подачей пара под верхнее укрытие, 2) то же, но без активной верхней теплозащиты и 3) блоки в стандартных опалубках и без активной верхней теплозащиты. Результаты наблюдения за процессами твердения этих блоков отличались сильной неравномерностью и построить кривые твердения для них не удалось. На основании отдельных наблюдений можно считать, что три указанных типа бестепляковых блоков могут применяться в предельном случае при средней температуре наружного воздуха соответственно: (-10°) — (-12°), (-4°) — (-6°), и 0 — (-2°).

При решении вопроса о бестепляковых способах бетонирования необходимо учитывать общий недостаток этих способов, а именно более слабую степень равномерности процессов твердения бетона. Поэтому при установлении требований (например прочностных) к бестепляковому бетону полезно назначать расчетные запасы несколько большие по сравнению с требованиями к бетону в тепляках. На Свирьстрое эта сторона дела предусматривалась рядом мероприятий. Например, температурный режим блоков был задан в некоторой степени более благоприятный по сравнению с расчетным, пассивную теплозащиту блоков предлагалось не снимать сейчас же после окончания контрольного периода без производственной к тому необходимости и т. п.

§ 16. Блоки весенние и летние

При наступлении весны производственной надобности в наблюдениях за остыванием блоков не было. Тем не менее наблюдения были продолжены. Производились они по клиньюм $0,3$ м в углу. Всего за

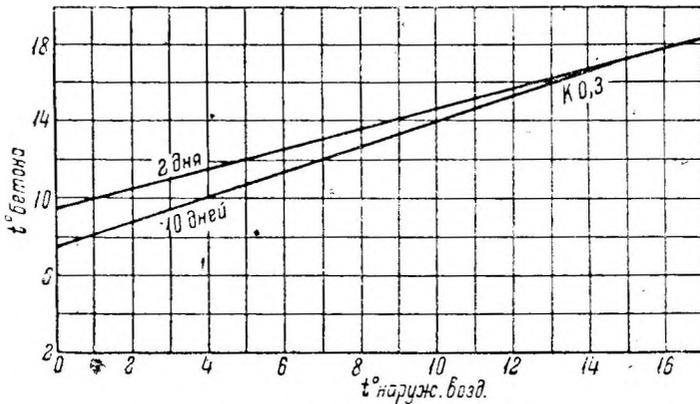


Рис. 78. Весенние открытые блоки. Температуры, средние за 2 и 10 дней.

апрель и май 1932 г. наблюдению было подвергнуто 44 блока открытого типа, т. е. без защиты верхней поверхности. Опалубка была одинарная толщиной 4 см. Таким образом блоки в отношении остывания были в условиях, одинаковых с блоками камеры шлюж. Характерные (средние) данные по блокам оказались такими: высота $2,91$ м, ширина $5,16$ м, длина $9,28$ м, объем по м^3 , время бетонирования $12,4$ часа, температура укладки 12° , модуль поверхности $0,65$, коэффициент бетонности $0,20$.

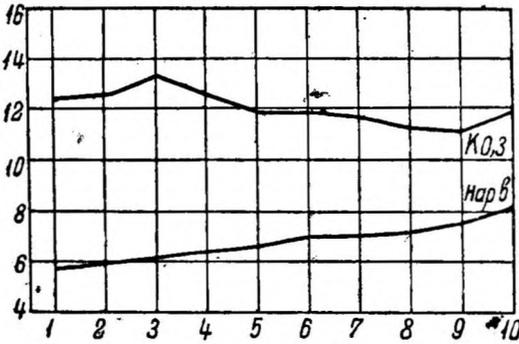


Рис. 79. Весенние открытые блоки. Средний температурный график по дням.

ния за остыванием бетона в блоках в теплое время указал на простоту этих наблюдений. Массовые наблюдения подобного рода, могут иметь весьма важное значение для изучения законов остывания блоков. Такие наблюдения желательно организовать на ближайших больших стройках.

Летом систематических наблюдений за остыванием блоков не велось. Единственно в двух блоках в 1932 г. были применены электропары в целях длительного наблюдения за температурой в блоках верхней головы шлюза, в блоках № 31 и 32. Блоки должны были находиться в различных влажностных условиях, и интересно было узнать, как эта разница скажется на температурном режиме бетона. Начатые наблюдения через 3—4 месяца прекратились, так как пришлось по непредвиденным производственным причинам разобрать помешавшую производству работ центральную станцию наблюдений, где находился щит наблюдений.

Этот случай лишний раз показал, что к постановке длительных систематических наблюдений над частями сооружений необходимо подходить весьма обдуманно и осторожно и специальные наблюдательские устройства предвидеть в самом проекте сооружений. На рис. 80 видно расположение

На рис. 78 представлена зависимость t_2 и t_{10} от температуры наружного воздуха. Близкая сходимость кривых с кривыми блоков в тепляке плита камеры шлюза и блоков в тепляках плотины подтверждает еще раз наше положение о порядке остывания периферийных точек блоков и возможность распространения диаграмм рис. 61 и 62 на случай бестепляковых блоков. На рис. 79 дан средний температурный график по дням. Опыт наблюдений

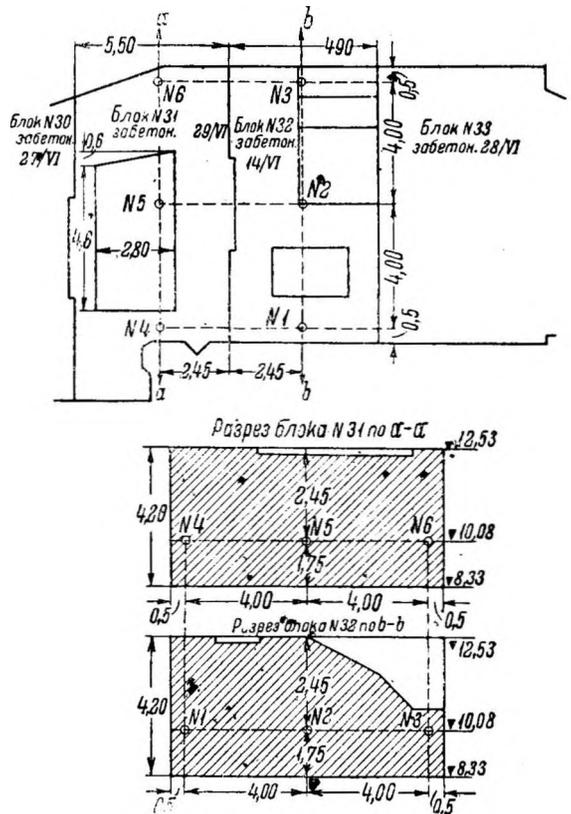


Рис. 80. Блоки №№ 31 и 32 верхней головы шлюза.

наблюдательских точек. Точки находились на глубине 2,45 м от поверхности блоков на расстоянии от опалубки 0,50 и 4,5 м. Расположение наблюдательских точек в данном случае принципиально ничем не отличается от предшествовавших опытов применения электротермометров на больших стройках (например Волховстрой). Теперь мы видим, что на

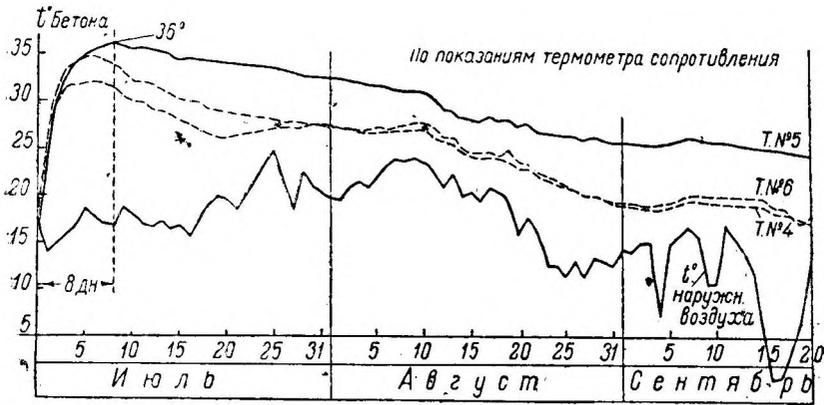


Рис. 81а. Температурный график блока № 31 верхней головы шлюза.

будущее необходимо взять за правило располагать точки в более характерных для процессов остывания местах, например в центре, в углу и т. п. График температур наружного воздуха и бетона представлен на рис. 81. Максимальная температура 36° получилась в центральных точках блоков через 5—8 дней. Температура бетона по укладке в блоки была 17°. Если признать, что охлаждающий

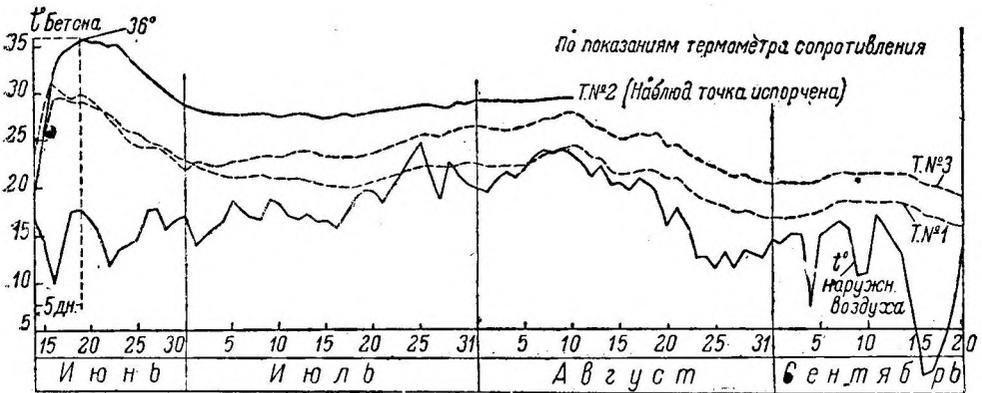


Рис. 81б. Температурный график блока № 32 верхней головы шлюза.

процесс в этот срок не доходит от углов к центральной точке, то экзотермический прирост температуры за время с момента укладки до момента температурного пика будет равен $36 - 17 = 19^\circ$. Экзотермия на 1 кг цемента за тот же срок, если принять теплоемкость бетона 0,25. вое 1 м³ бетона в 2440 кг и учесть расход цемента 280 кг/см³, будет:

$$\frac{19 \times 2440 \times 0,25}{280} = 49 \text{ кал.}$$

Кривые рис. 81 могут пригодиться для проверки теоретических схем остывания блоков. Средняя температура наружного воздуха за

2 дня после бетонирования была $13,5^{\circ}$. Средняя температура в средней точке, т. е. на вертикали, проходящей через центр блока, на глубине 2,45 м оказалась для двух блоков 30° . Путем небольшой экстраполяции мы можем из рис. 62 получить те же данные для глубины 1 м, 0,3 м и 0 м. Данные нанесены на рис. 82. Чертеж дает понятие о том, как происходит процесс охлаждения в блок для данных определенных условий.

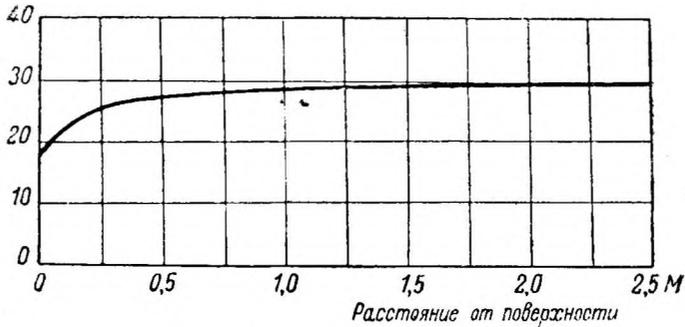


Рис. 82. Температуры по центральной в блоке вертикали, средние за 2 дня.

§ 17. Электропрогрев бетона

К укладке бетона в зимнее время с применением электропрогрева на Свирьстрое приступили в период окончания массовых бетонных работ. Таким образом массового применения сравнительно нового мероприятия не было, а также не было и массовых систематических наблюдений. Проводились некоторые лабораторные опыты и в опытном порядке было забетонировано несколько гидротехнических массивов. Кроме того, электропрогрев довольно широко использовали в некоторых специальных случаях мелких бетонировок.

На лабораторных опытах специально не останавливаемся. Упомянем лишь, что прочность прогретого бетонного кубика оказывалась после 24 часов около $40\text{--}50 \text{ кг/см}^2$ и через 72 часа около $70\text{--}80 \text{ кг/см}^2$ при контрольных прочностях соответственно 20 и 65 кг/см^2 . Часто замечалось, что прогретый бетон, перегнав по прочности контрольный, впоследствии отстает от него. Сравнение различных режимов подогрева по результативной прочности и расходам электрической энергии указало на желательность интенсивности подогрева в $5^{\circ}/\text{час}$ с подогревом до 60° .

На рис. 83 даны размеры первого опытного блока, входившего в состав раздельной стенки верхнего капала шлюза. Из рис. 84 ясны и тип электродов и их расположение. Блок имел по боковым поверхностям арматурную сетку, выходящую из нижележащего бетонного слоя. Объем бетона был $33,6 \text{ м}^3$, напряжение тока — 220 в. Вследствие сильного теплового эффекта подача тока определялась за один раз около 10 минут с перерывом до падения температур на поверхности бетона до $30\text{--}40^{\circ}$. Чистое время электропрогрева составляет около 10% от общего времени в 35 часов. Максимальная (начальная) мощность составила в среднем на 1 м^3 $2,80 \text{ кВт}$. По секциям мощность росла в соответствии с их номерами (влияние различных типов электродов). Средняя мощность оказалась $2,4 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. Температуры на боко-

вых поверхностях оказались неравномерными, у электродов доходили до 70—80°, в среднем были около 45°, между электродами соответствующие температуры были около 40° и 30°. В угловых нижних точках температуры слабо поднимались и пришлось ставить дополнительные электроды. Твердение происходило в условиях слабых морозов. Хотя блоки были вполне благополучно распалублены, но штыревая система электродов в применении к массивам при данных условиях оказалась совершенно неудачной. Пришлось делать много дыр в опалубке, впоследствии срезать торчащие из бетона куски железа. Каждый штырь являлся причиной неравномерности нагрева. В обычных условиях бестепляковой кладки достаточно следить, чтобы не замерзли многочисленные опасные места (угловые точки). В данном же случае

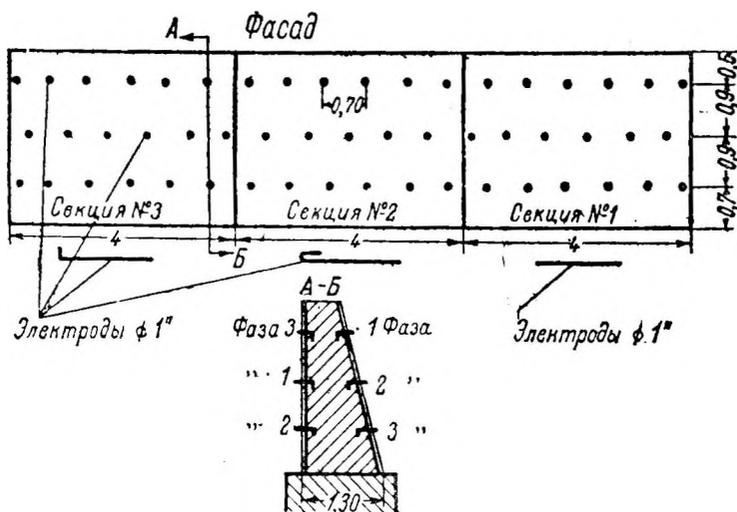


Рис. 83. Опытный блок № 1 с электропрогревом (электроды встроены в бетон: верхние на 8, средние на 12 и нижние на 18 см).

приходилось усиленно следить за всей поверхностью, чтобы не получить максимальных перегревов. Пропуск тока через толщину бетона привел к нежелательному нагреву ядра блока, почему при остывании блок дал вертикальные трещины, которые и разделили его по длине на три части.

На рис. 84 показан соседний блок. Здесь в качестве электродов применили куски арматурного железа диаметром $\frac{5}{8}$ " , поставленные с внутренней стороны опалубки. Расположение фаз было задано в стремлении направить ток вдоль поверхности бетона. Максимальные значения температур оказались приблизительно теми же, что и в первом блоке. Разница в температурах у электродов и между электродами получилась примерно такая же. Тем не менее, распределение температур следует считать более равномерных, так как оно в каждом горизонтальном сечении было приблизительно одинаковым. Мощность потребовалась на 1 м³ бетона максимальная 3,1 кет и средняя 2 кет. Время чистого прогрева около 75% от полного в 32 часа. Удлинение срока чистого прогрева отвечает большей равномерности распределения температур. Израсходовано на 1 м³ 46 кет-ч или на 1 м² боковой поверхности около 20 кет-ч. Приклад-

ные электроды остались после распалубки в бетоне, но их можно было бы отдрать. То и другое может быть выставлено в качестве нежелательного фактора в случае бетонировки блоков с окончательными поверхностями. Неравномерность распределения температур может быть значительно уменьшена снижением, напряжением. В отдельных случаях можно применить для этого последовательное включение электродов, но в общем случае требуется приобретение специальной аппаратуры.

Систему электронагрева, примененную во втором опытном блоке, сочли выгодным и удобным применить при бетонировке бетонных фундаментов насосной станции. Высота фундамента была 2 м, ши-

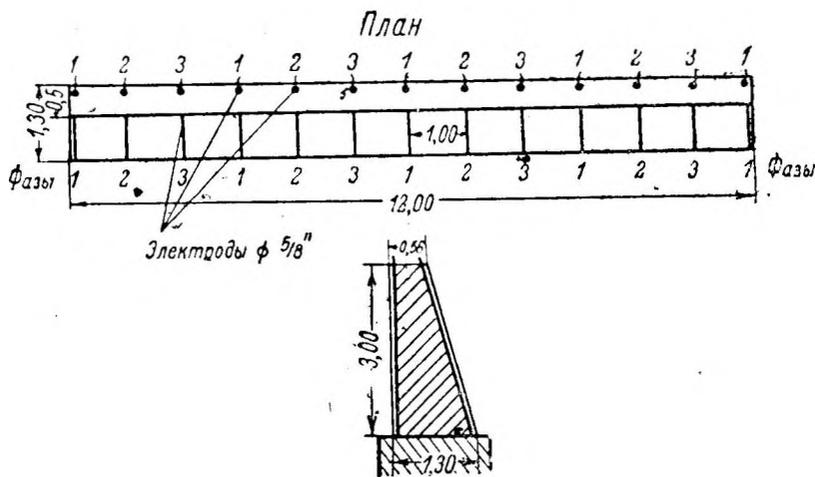


Рис. 84. Опытный блок № 2 с электропрогревом.

рина 0,60 м. Электроды стояли через 1 м (диаметр $\frac{3}{8}$ "). Блоки прогревались непрерывно в течение в среднем 35 часов. Расход электроэнергии составил по-прежнему около 20 кВт·ч на 1 м² боковой поверхности. В данном случае электропрогрев оказал производственную услугу. Особого беспокойства в отношении качеств бетона не было вследствие малоответственности сооружения. Фундаменты находились в узком котловане и выдерживание бетона в теплом состоянии при другом способе работ потребовало бы много хлопот.

Всем известно, как трудно зимой осуществлять некоторые маленькие бетонные работы. В качестве примера приведем заливку монтажных болтов на морозе. При таких работах электропрогрев подчас оказывал существенную пользу. Сначала в бетоне выбивают гнездо, ставят в середину гнезда болт, а по периферии в разных углах три электрода. Гнездо заливают раствором 1 : 2,5 и включают ток 220 в. Через десять минут начинается сильное выделение пара, и ток выключают на полчаса. Через 8 часов электропрогрев прекращают, а через 20 часов, начинают монтаж. Старый бетон желательно прогреть, для чего достаточно налить в гнездо воду и кипятить ее простейшей электрической грелкой из двух медных полос.

Признавая полную целесообразность электропрогрева бетона для

целого ряда практических случаев, тем не менее, на основе имеющегося опыта трудно говорить о возможности проведения бетонирования массивных ответственных гидротехнических блоков с помощью электропрогрева. Ряд неясностей и возникающих затруднений указан раньше. Необходимо упомянуть про следующие серьезные недоумения. Проводником для электрического тока является свежая бетонная масса. В ней содержится вода, в смеси с цементом образующая растворы из различных солей, которые и являются проводниками электричества. По мере гидратации и испарения сила тока при электропрогреве ослабевает, пока ток не перестает идти совершенно. Вполне понятно теперь, почему старый бетон, а также замороженный бетон являются весьма слабыми проводниками. Электропрогрев бетона может выступать в качестве широкого производственного мероприятия при бетонировании гидротехнических массивов только при хорошем и определенном разрешении вопросов, как обогревать постели блоков и как обогревать замерзшие поверхности. Пока удовлетворительного ответа на эти вопросы нет. Надежда на пар здесь вряд ли уместна, так как нельзя же к каждому блоку делать для целей нагрева подводку электрического тока и пара. Упомянем еще про затруднения и неясности в тепловом режиме, вносимом наличием арматуры, в особенности -арматуры поверхностей. По-видимому, большинство возникающих затруднений можно было бы устранить электропрогревом не самого бетона, а заполнителя опалубки (смоченные соевым раствором опилки и т. п.). В лаборатории проведены многочисленные опыты с такого рода электротермоопалубками, и они дали хорошие результаты. При отсутствии производственного опыта не приходится особо останавливаться на результатах указанных лабораторных опытов. По-видимому, в татре опалубки необходимо испробовать на ближайшей в будущем стройке.

Глава V

УКЛАДКА БЕТОНА С ВИБРАТОРАМИ

Как мы видели, Свирьстрой по сравнению с Днепростроем расширил механизацию бетонных работ по линии цементных операций и в отношении разгрузки инертного. На Днепрострое приемка цемента на склад и погрузка цемента в приемные бункеры шнеков подачи на бетонный завод производилась руками. На Свирьстрое разгрузка цемента производилась механическими лопатами, и подача на бетонный завод осуществлялась пневматическим путем. На Днепре вагоны с евпаторийским песком нагружались в карьере и разгружались на склад при бетонном заводе лопатами вручную. На Свирьстрое при операциях с инертными ручной труд не применялся. Единственным немеханизированным и трудоемким звеном осталась укладка бетона. Механизацию укладочного звена можно осуществить применением механических трамбовок и вибраторов. Механические трамбовки облегчают тяжелый труд рабочего при трамбовании жесткого бетона, но оставляют в большей мере неизменными основные свойства трамбованного жесткого бетона, Трамбованный жесткий бетон, с одной стороны, осуществляет высокие прочностные свойства бетона, но, с другой сто-

роны, обуславливает резкую неравномерность бетона в массивном сооружении по вертикали, другими словами, горизонтальную слоистость бетона. Многочисленные стыковые поверхности слоев являются слабыми местами сооружений, которые уступают разрушающим воздействиям атмосферных факторов и кладут начало разрушению всего сооружения.

Вибрирование вносит существенное качественное изменение в процесс уплотнения бетона. Бетон при обычных способах уплотнения в случае жестких бетонов преимущественно уплотняется посредством нагрузки от трамбовки. В случае бетонов пластичных работа трамбовки сопровождается некоторым взаимным перемещением отдельных частей бетонной массы и составные части при этом, взаимном перемещении приходят в более однородное и более плотное взаимное размещение. При вибрировании частично сохраняется уплотняющий эффект, проистекающий от удара массы трамбовки сверху вниз. Но особо примечательным является состояние непрерывного частого сотрясения, в котором находятся инертные частицы в бетоне. При этом сотрясении получают такие моменты, когда две соседние частицы теряют между собой контакт, пропадает трение между частицами, в результате чего ничто не мешает постоянной силе, силе тяжести, перемещать частицы вниз, и частицы, будучи освобождены от трения и находясь под действием силы тяжести, стараются занять наиболее низкое положение, а следовательно, и более плотное расположение. Вышеуказанное положение подтверждается слабыми результатами, получившимися при попытках приспособить электромагнитный вибратор к укладке массивного бетона. Якорь электромагнитного вибратора имеет движение взад и вперед. При размещении электромагнитного вибратора перпендикулярно к площадочной базе бетонная масса получает частый ряд сильных ударов сверху, но направление удара не имеет горизонтальной составляющей. Конструкция имеет все признаки широкой трамбовки, но не несет специфических особенностей вибраторов и, понятно, уплотнение бетонной массы не получается хорошим. Вибрирование бетона совмещает достоинства сухого и пластичного бетонов. О одной стороны, сохраняются выгоды, проистекающие от малого содержания воды в бетоне, с другой стороны, бетон укладывается плотной, однородной массой без горизонтальной слоистости.

Впервые в СССР практический случай применения вибраторов имел место на Днепрострое в 1933 г. по полном окончании бетонных работ на гидроцентрале. Там удачно воспроизведена была модель французского пневматического вибратора. Конструкция получилась простой и изящной. В том же году вибратор применен был при бетонировании колонн сборного железобетонного каркаса. Практическое применение вибраторов не было широким. В сущности был произведен опыт вибрирования железобетонных частей и вибрированием была охвачена небольшая кубатура изделий. Самое важное, не было получено опыта с укладкой массивного бетона.

Свирьстрою в 1933 г. предстояло забетонировать вторую очередь плотины и на этом закончить бетонные работы. И, собственно говоря, не было производственной непосредственной нужды ломать установившиеся и хорошо усвоенные методы укладки пластичного бетона, но вибрирование бетона заинтересовало Свирьстрой с точки зрения предстоящих работ на Верхнесвирской установке. Необходимо было

проверить на практике новый способ работ, тем более, что ознакомление с иностранными источниками не давало ясного представления о состоянии этого вопроса. Не ясно было, почему в Америке, родине вибрирования массивных бетонных частей, вибрирование не получает повсеместного распространения на всех гидростройках. При ознакомлении с заграничными конструкциями вибраторов поражаало крайнее разнообразие их, и оно говорило именно о том, что и в Америке нет еще канонических форм приложения новой идеи.

При организации вибрирования бетона на Свирьстрое теоретическая сторона дела не представила особых затруднений. Основные преимущества нового метода работ выяснились достаточно по ознакомлении с литературными данными. Было ясно, что вибрирование бетона способно осуществить механизацию процессов укладки бетона, позволяет снизить расход цемента, обещает повышенную степень однородности бетона, повышает механическую его прочность. Известны были сведения об усилении при вибрировании плотности и стойкости бетона в отношении водонепроницаемости, морозоупорности и выщелачивающего действия вода. Заграничные данные, кроме того, говорили об уменьшении усадочных и тепловых явлений в бетоне и о сокращении срока распалубки блоков, что может оказаться в особенности важным при направлении в бетон дущоцлановых портланд-цементов. Основные затруднения оказались с вопросом приобретения вибраторов. На рынке вибраторов не было. Пневматической аппаратурой Свирьстрой совершенно не интересовался. Пневматическая база Свирьстроля, строившегося да мягких грунтах и не применявшего в широком масштабе взрывных работ, была слаба. Кроме того, непосредственное использование электрической энергии представлялось более выгодным. В то время некоторые организации занимались конструированием электрических вибраторов, но в большинстве случаев это были несмелые попытки, носившие лабораторный опытный характер. Всего лучше поставлена была работа по конструированию вибраторов в Ленинградском институте сооружений. Свирьстрой взял за исходные образцы модели этого института, испытал их в деле, при консультации института устранил обнаруженные дефекты и в результате получил не лабораторный прибор, а машину определенного производственного значения.

Опыт Свирьстроля в этом отношении должен вызвать к себе определенный интерес, так как, в сущности, это был первый опыт в СССР массовой укладки бетона в массивные гидротехнические части с применением вибрирования. При введении в строительную практику нового метода пришлось столкнуться с рядом невыясненных обстоятельств и новых вопросов, которые необходимо было решить именно в практической обстановке. Всесторонние данные по опыту Свирьстроля небезынтересны будут при организации соответствующей постановки дела на будущих стройках. Необходимо иметь в виду, что опыт Свирьстроля касается производства работ с применением вибраторов по укладке бетона, главным образом, в массивные гидротехнические блоки без арматуры или с арматурой с расстоянием между стержнями не менее 18—20 см. Опыт по укладке бетона с вибрированием в массивные блоки с частой арматурой и в тонкие бетонные и железобетонные части был сравнительно невелик, и в этом отношении мы не можем представить соображений, подкрепленных практическими данными.

§ 1. Некоторые замечания организационного характера

На крупных гидростройках всегда более или менее организационно разграничены электромеханические услуги и услуги чисто механического свойства. Всегда в наличии два отдела или подотдела: один ремонтирует и вращает строительные механизмы, а другой числит за собой присмотр за всеми моторами, выполняет все электропроводки и несет все функции узко электротехнического обслуживания стройки. Сначала в соответствии с установившимся порядком на строительстве хозяйственный присмотр за вибраторами был поручен механическому отделу, но вибраторы, в сущности, имеют простейшую и прочную механическую конструкцию. В то же время ни при ремонте, ни тем более при эксплуатации приборов никак нельзя было обойтись без электриков. В результате опыта было решено всю хозяйственную заботу о вибраторах передать в ведение главного электротехника строительства. Опыт Свирьстроя в отношении хозяйственного присмотра за вибраторами дает следующие указания.

В районе основных работ, в непосредственной близости к местам укладки бетона, необходимо устроить сравнительно небольшое помещение, где хранятся вибраторы и находится постоянное место дежурного электромонтера. Площадь достаточна двойная по сравнению с площадью, необходимой под установку полного количества вибраторов. Рядом с помещением необходимо устроить подводку воды с краном, снабженным шлангом для обмывания вибраторов после работы.

Ремонт вибраторов, по-видимому, лучше производить в центральных мастерских. Тем не менее, текущий ремонт следует практиковать на месте и для этого в кладовой следует иметь верстак с тисками и набор инструментов: разводные ключи, плоскогубцы, ножовки, ручники, зубила, отвертки и пр. Там же должны храниться набор присоединительных щитков, провода, за-цяные части к вибраторам и т. п.

В каждой рабочей смене необходимо иметь дежурного монтера и одного слесаря из расчета по одному человеку при количестве вибраторов до 25 шт.

Назначение блоков с применением вибраторов определенного типа, транспортировка вибраторов до блока от кладовой, где они хранятся, и обратно, непосредственный присмотр за сохранностью вибраторов, взятых из кладовой, и за надлежащим обращением с ними, а также само применение вибраторов к укладке производится распоряжением производителя работ данного участка,

Все вибраторы должны иметь номера, которые могут быть крупно выбиты, например, на медных табличках. Заранее следует отобрать и обучить обращению с вибраторами рабочих, причем последних (функционеров), по возможности, следует прикрепить к определенному вибратору.

По окончании работы или смены вибратор сдается обратно в дежурное помещение, где принимается дежурным монтером с записью в журнале о состоянии вибратора и с отметкой фамилии функционера.

Само собой разумеется, ответственность за различные стороны дела при направлении в работу вибрированного бетона должна быть возложена на соответствующие цеха. Но совершенно необходимо на каждой стройке, применительно к местным особенностям, проработать все детали дела и составить всестороннюю и полную инструкцию по

укладке вибрированного бетона, где следует особо остановиться на обстоятельствах, касающихся каждого цеха. Например, в инструкции следует учесть особые пункты, детально предусматривающие для хозяйства изготовляющего бетон, ответственность за соответствующие качества изготовленного бетона, за надлежащие темпы транспортировки бетона и за учет бетона. Таким же образом в инструкции следует подчеркнуть особенности ответственности соответствующих цехов за безотказную работу дерриков, за контрольные операции и пр. В частности, подчеркиваем важность деятельности бетонной инспекции, которая особо зорко должна следить за качеством выполняемых работ по укладке бетона с применением механизмов.

Ведение укладки бетона с вибраторами требует учета некоторых обстоятельств при составлении производственных планов работ. Производитель работ данного участка при составлении плана работ по участку в конце текущего месяца должен учесть весь бетон, подлежащий укладке с применением вибрирования в продолжение следующего месяца, и сообщить свои данные электрикам, чтобы они произвели надлежащую подготовку, в частности, наметили удобную схему электропроводки. В условиях вибрированной укладки приобретает большое значение ежедневное планирование внутриучастковое и по связи со смежными цехами. В этом отношении необходимо взять пример с твердого порядка, проводившегося на Свирьстрое. Каждый день в 12 часов производитель работ проводил на участке краткое техническое совещание, где увязывались всякие участковые вопросы. На этом совещании, в частности, намечались блоки, подлежащие укладке с вибраторами, устанавливался порядок укладки арматуры и т. п. Не позже 16 часов участком сдавались посменные заказы главному электротехнику на вибраторы и электропроводку к блокам с указанием числа вибраторов того или другого типа и мест бетонировки. Все простои в работе, обусловленные невыдачей ежесуточного запаса по цеховому хозрасчету, сносились за счет участка.

§ 2. Описание вибраторов

На Свирьстрое при введении вибрирования бетона старались ознакомиться с устройством вибраторов соответствующий перегал. В основном устройство вибраторов должен знать весь административно-технический персонал, имеющий соприкосновение с работой по укладке бетона с вибрированием, и в том числе бригадиры. В определенной мере устройство вибраторов необходимо знать рабочим-бетонщикам, которые должны быть ознакомлены с правилами укладки бетона с вибрированием, с правилами обращения с рубильниками, подводкой тока к вибратору и т. д.

Наиболее испытанным в производственных условиях Свирьстроа был поверхностный электромеханический вибратор с отдельно вынесенным мотором. На Свирьстрое первоначальная модель претерпела следующие изменения: увеличена база вибратора, даны реборды шкивам (против соскакивания ремня), усилены рессоры, заменена металлическая ручка деревянной и изменена конструкция ремня. Окончательные поперечные размеры рессор из обычной стали оказались 6 X 40 мм. Рессоры меньшего сечения работали в лаборатории хорошо. В производстве металл, невидимому, не выдерживал на усталость, и рессоры ломались без моментной внешней причины к тому. В целях

облегчения конструкции следует в дальнейшем применять для рессор высокопрочную сталь. Ремень в вибраторе работает в плохих условиях переменного расстояния между шкивами. Лучше всего показал себя узкий кожаный предварительно вытянутый ремешок, вырезанный по желобку шкива, в концах взятый на ус и соединенный внахлестку. В месте соединения ремень проклеен и, кроме того, проклепан маленькими заклепочками. Ремень рвался редко, но с течением времени вытягивался и начинал слетать со шкивов. Поэтому в блоке держались ремни про запас, и вытянувшиеся ремешки сдавались в кладовую. Впоследствии в Ленинградском институте сооружений

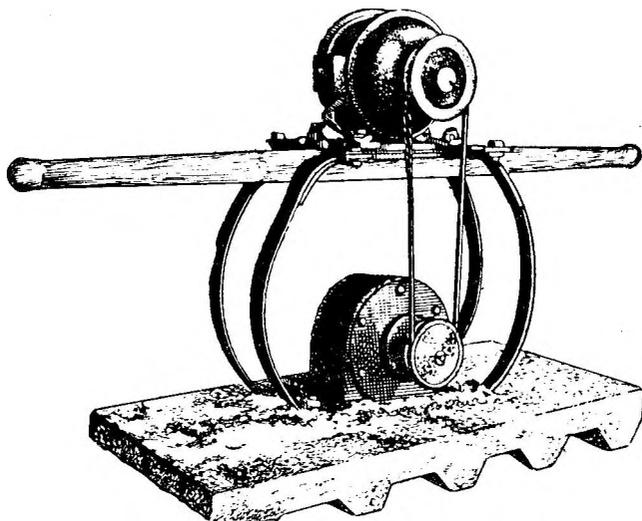


Рис. 85. Поверхностный электромеханический вибратор с отдельно вынесенным мотором (конструкция инж. Л. П. Петрунькина).

хороший отзыв дан о резиновом ремне специального изготовления (тестроп), но этот ремень в свирепой производственной практике проверен не был.

Окончательная модель поверхностного электромеханического вибратора с отдельно вынесенным мотором представлена на рис. 85. Он состоит из герметически закрытого роторного кожуха, внутри которого вращается на валу один эксцентрик. Активный вес эксцентрика, т. е. вес за вычетом ступицы эксцентрика, был равен 1100 г платформенная база вибратора имела размеры в плане 90 X 45 см, толщина досок 5 см. К этой деревянной платформе и прикрепляется роторный кожух. В нижнюю часть платформы вделаны пять поперечных брусков трапециевидного сечения (высота 6 см, ширина поверху 9 см, понизу 5 см). Эти бруски предназначены для передачи бетонной массе горизонтальных толчков от ротора. Низ платформы против износа обивается листовым железом толщиной 1 мм.

Рессоры имеют вид буквы И с выгнутыми внаружу стойками. Концы рессор прикрепляются под ротором. На рессорах расположен герметически закрытый мотор, вращение от которого передается валу с эксцентриком. Мотор — асинхронный трехфазного тока с числом оборотов в минуту около 2700, напряжение 220 в, мощность около

0,50 квт. Мотор изготовления завода Динамо был типовым и не предназначен специально для вибраторов. На валы мотора и ротора насажены шкивы для трапециoidalного ремня. Число оборотов ротора было около 3400 в минуту. Под мотором крепилась деревянная рукоятка перпендикулярно к оси мотора и параллельно плоскости платформы. Длина рукоятки была около 1,30 м. Высота рукоятки над платформой была 0,4 м. Пробовали одну рукоятку заменить двумя, но изменение не дало особых удобств. Вес вибратора оказался 85—88 кг. Валы были посажены на шарикоподшипники. Смазка шарикоподшипников производилась тавотом.

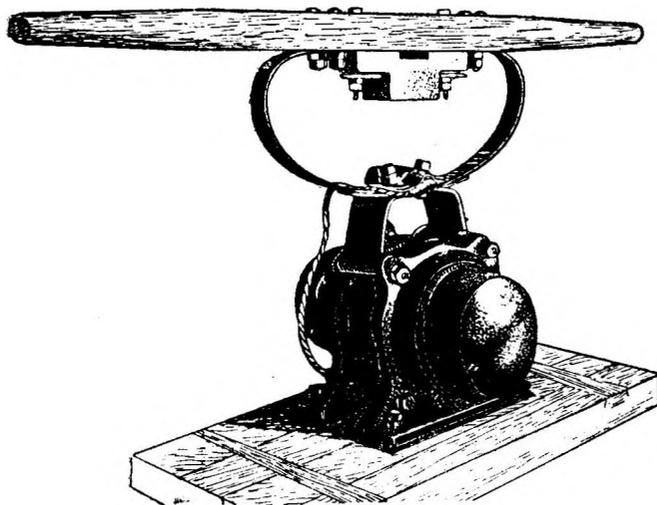


Рис. 86. Поверхностный электромеханический вибратор с эксцентриками на валу мотора (конструкция инж. Л. П. Петрунькина).

С изготовлением поверхностных вибраторов строительские мастерские справились хорошо. Изготовлено всего было 16 шт. В работе вибраторы выказали себя простой и прочной машиной.

При работе вибратором при его перестановках на каждого рабочего приходился сравнительно большой вес, около 45 кг. В этом заключался первый недостаток осуществленной конструкции. Вторым недостатком замечен был в особенности при случайных усилениях степени жесткости бетонной массы и заключался в сравнительной маломощности мотора. По-видимому мотор следует усилить в два раза.

По окончании работ на Свирьстрое Ленинградским институтом сооружений смонтирован поверхностный вибратор по образцу свирского, но с улучшенными характеристиками. Вибратор (тип ВЭ-3-35) с меняющимся эксцентриситетом, алюминиевым корпусом ротора и со специальным мотором мощностью в 0,7 квт. Число оборотов ротора доведено до 4000 в минуту. Вес нового вибратора 65 кг. Следует надеяться, что при заводском изготовлении характеристики вибратора будут еще улучшены и, в частности, усилена мощность мотора и устранен из конструкции алюминий, как известно, подвергающийся разъедающему действию бетонной массы. В отношении уменьшения

веса, невидимому, не следует идти дальше веса в 60 кг. Такой вес мы находим в американских данных. Без всякого расчета ясно, что вибратор при малом его весе не в состоянии передать вибрацию бетонной массе, а будет лишь подпрыгивать сам. Стоимость вибратора, изготовленного в свирьстроевских мастерских, оказалась около 1000 руб.

Ленинградским институтом сооружений к концу бетонировки на Свирьстрое был сконструирован второй тип поверхностного вибратора

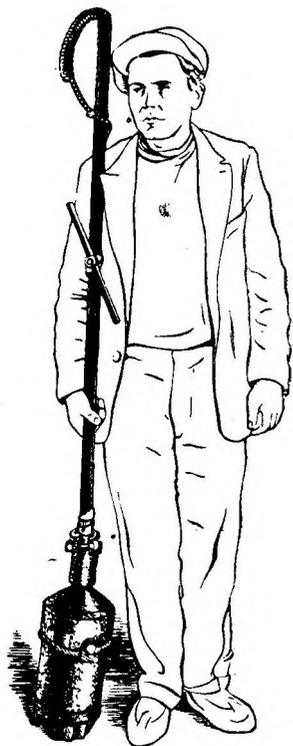


Рис. 87. Вибролопата (конструкция инж. Л. П. Петрунькина).

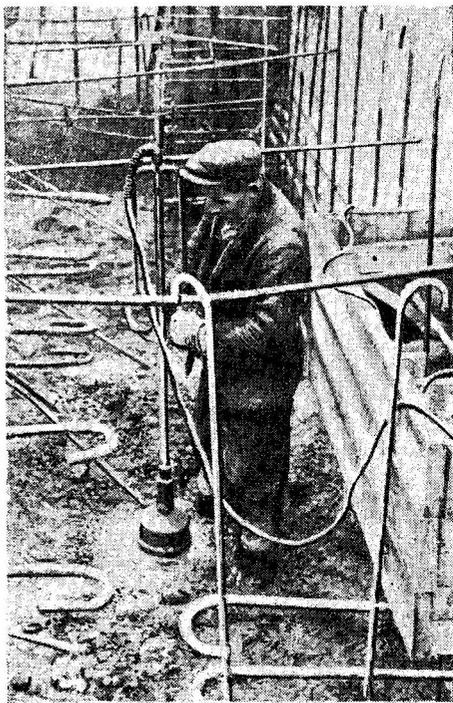


Рис. 88. Вибролопата в работе.

с эксцентриками, расположенными на валу мотора. Этот вибратор был испробован в работе при укладке свирского бетона, но в продолжительной эксплуатации не находился. Конструкция вибратора была весьма простой и, по-видимому, не требующей существенных переделок. Подробного описания его не даем. О внешнем виде можно судить по рис. 86. Эксцентриков две штуки, расположены они по концам вала и защищены стальными сварными кожухами толщиной 2 мм. Вес вибратора 60 кг и в дальнейшем уменьшен институтом до 55 кг. Моторы на производственной и улучшенной институтом моделях одинаковы с моторами вибраторов прежде описанного типа. Важно отметить, что вибратор с эксцентриками на валу мотора может быть легко снят с платформы и переоборудован на тисковой зажим для укрепления его к опалубке или же может быть переоборудован на стержневой для укладки бетона с густой арматурой, а также для сотрясений опалубки и арматуры.

В свирьстроевских мастерских была собрана вибролопата. Наименование вибратора способно вызвать недоумение. По-видимому принято оно из-за сходства в рабочих приемах с обыкновенной лопатой. Обычной лопатой можно спускать песок с вершины кучи к основанию. Вибролопатой можно также сдвигать массу с вершины бетонной кучи. Внешний вид вибролопаты показан на рис. 87 и 88, а части ее на рис. 89. Для масштаба на снимке заснята обыкновенная спичечная коробка.

Вибролопата является первибратором управляемого типа и состоит из стального баллона и рукоятки. Рукояткой является железная трубка диаметром 1", соединена она с баллоном при помощи резиновой муфты и зажимов. Чтобы при взятии вибролопаты на

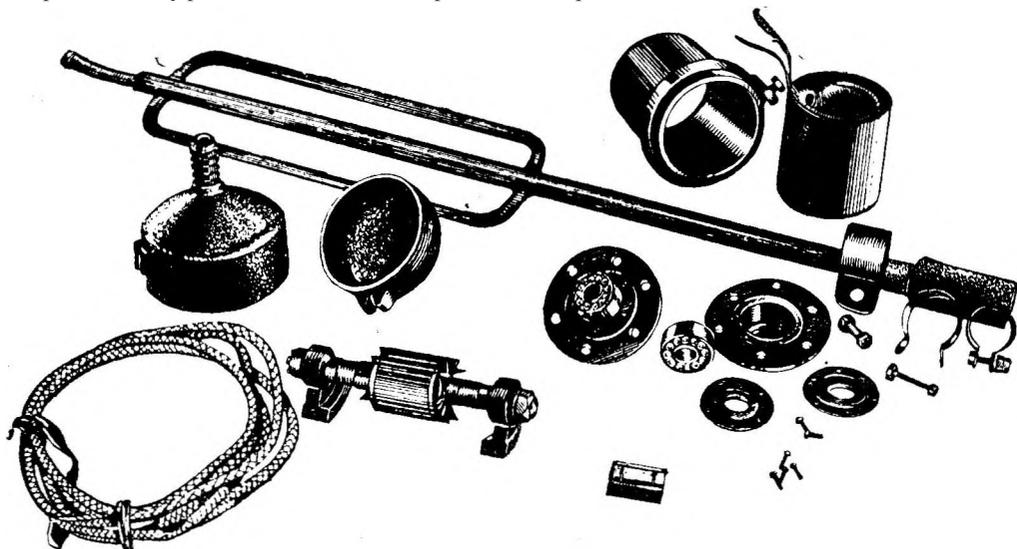


Рис. 89. Вибролопата в разобранном виде.

перевес баллон не отгибался книзу, резиновая муфта подкреплена стальными планками сечением 1 X 10 мм в количестве 6 шт., проходящими под зажимы. На рукоятке насажена поперечная планка для лучшего удержания вибратора и для преодоления вращающего момента. Попутно отметим, что вибролопата от вращения легко удерживается и без планок при простом обжиме руками рукоятки. На рис. 89 планка заменена двумя продольными трубками, приваренными к рукоятки.

Баллон получает вибрацию от мотора, спрятанного внутри. Асинхронный мотор трехфазного тока фиксируется в кожухе на соответствующих заточках. Верхняя коническая крышка навинчивается на основное тело баллона и зажимает мотор. Уплотнение стыка крышки с баллоном достигается резиной. Мощность мотора 0,35 квт, напряжение 220 в, число оборотов в минуту около 3000. Два эксцентрика насажены на вал мотора. Общая длина вибролопаты 1,80 м. Высота баллона 380 мм, наибольший диаметр 190 мм, вес 18 кг.

При изготовлении вибролопаты встретились с большими затруднениями, чем при изготовлении поверхностных вибраторов. Прежде всего конструкция самой вибролопаты сложнее и мельче и при изго-

товлении требуется большая точность в обработке. Надежнее, безусловно, подобные конструкции изготавливать в заводских условиях. При изготовлении вибролопаты в нее внесли ряд изменений, необходимость в которых обнаруживалась пробной эксплуатацией. В частности, верхняя крышка уширена, чтобы устранить возможность задевания верхнего эксцентрика за ввод провода, поставлена запорная гайка против отвинчивания верхней крышки и т. д. В результате вибролопата работала хорошо и, в частности, уплотнения выдержали пробу при работе вибролопатой по утрамбованию песчаных откосов, когда вибролопата опускалась и находилась в рабочем состоянии долгий срок в воде. Вибролопата подлежит некоторому улучшению: необходимо, по возможности, уменьшить диаметр, вес и укоротить выступающие части в баллоне.

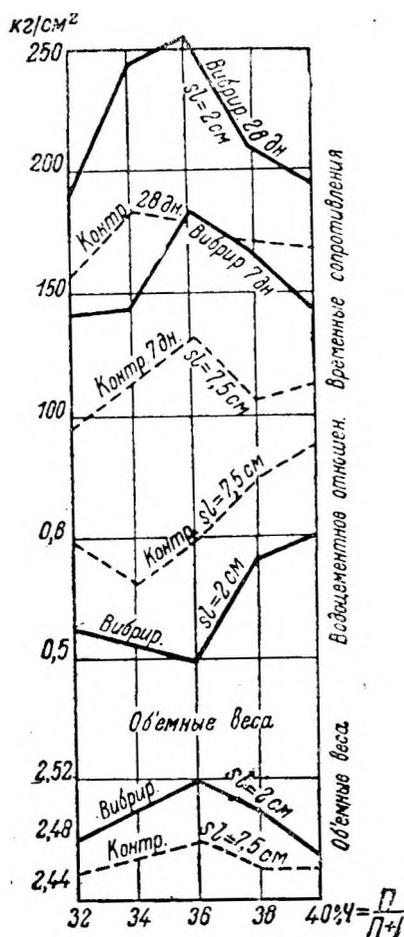


Рис. 90. Сравнительный опыт с вибрированным и контрольным невибрированным бетоном.

Для номинального состава 1 : 8 на портланд-цементе результаты представлены на рис. 90, для бетона на трассовом цементе на рис. 31.

Опыты с замесками на портланд-цементе показали следующее:

1) Объёмный вес вибрированного бетона в порядке правила выше. Увеличение объёмного веса чувствительнее при большом расходе цемента, при малых расходах разница мало заметна, в частности, при $n = 8$ увеличение объёмного веса в среднем равно 0,7% (2,484 вместо 2,466).

§ 3. Лабораторные опыты и составная пропорция бетона

В механической лаборатории Свирьстроя были проведены опыты по сравнению свойств вибрированного бетона и бетона обычного (контрольного). Пятиминутное вибрирование кубиков с ребром в 30 см производилось помощью пневматического вибратора Днепростроя диаметром 45 мм, прикреплявшегося к металлической форме кубика так, чтобы удары молотка происходили в горизонтальной плоскости. Контрольные образцы укладывались принятыми способами штыкования. Оплыв для вибрированных образцов был взят 1—3 см, для контрольных — 6—9 см. Цемент применялся новороссийский, портланд-цемент «00» и трассовый. В качестве инертных были применены нормальные свирьстроевские крупная галька и песок. Были изготовлены замески с номинальным составом $n = 7,5, 8$ и 9 и различными соотноше-

2) Прочность вибрированного бетона выше. Прирост прочности до сравнению с контрольным бетоном в среднем для 7 дней — 40% и для 28 дней — 33% (при одном и том же расходе цемента). Опыты с трассовым цементом обнаружили более заметный прирост прочности для вибрированных бетонов.

3) Для оптимальных содержаний песка в случае бетонов вибрированных и в случае бетонов контрольных разницы заметной не оказалось. Отсутствие разницы подтвердилось и в опытах с бетонами на трассовом цементе.

Согласно некоторым американским литературным данным вибрированные бетоны требуют меньшего содержания песка. В свирьстроевских результатах это положение не подтвердилось. Одинаковость содержания песка в обоих сортах бетона оказалась в данном случае весьма удобной, так как позволила для вибрированных бетонов сохранить ту же установку мерных ящиков с галькой и песком, которая применялась для обычных бетонов, т. е. введение в практику вибрированного бетона могло не сопровождаться специализацией бетоньерок.

Вопрос о расходе цемента на 1 м^3 был решен на основе исследований плотности бетона. На рис. 29 изображены кривые междуинертных пространств в зависимости от номинального состава n для бетона вибрированного и контрольного. Сплыв контрольного бетона взят $7,5 \text{ см}$, что в среднем отвечает установленной норме по сплыву $6\text{—}9 \text{ см}$ для свирьстроевской основной марки бетона № 1 для массивов, для вибрированного бетона взят сплыв $3,5 \text{ см}$, что должно в поле отвечать в среднем $2\text{—}5 \text{ см}$. Песок в опытах — нормальный мытый погринский, галька — крупная. Содержание песка в смеси инертных — 36%.

Переходный состав получился для обоих сортов бетона один и тот же, а именно отвечающий номинальному составу $n = 8,8$. Междуинертное пространство переходного состава для контрольного бетона получилось равным $0,20$ и для вибрированного $0,191$. В практических пределах разница в расходах цемента на 1 м^3 для бетона контрольного и вибрированного при одном и том же номинальном составе получалась совершенно несущественной, почему при сравнениях обоих сортов бетона можем считать расход цемента одинаковым, если номинальный состав одинаков. Казалось бы, при одинаковом номинальном составе выход бетона вибрированного должен быть меньше и расход цемента больше, так как вибрированные бетоны при меньшем сплыве содержат меньше воды, а выход цементного камня падает вместе с падением водоцементного отложения. Но опыты по выходу цементного камня с применением вибрирования и без вибрирования показали, что вибрирование несколько увеличивало выход цементного камня. Это увеличение выхода цементного камня в известной мере компенсирует уменьшение выхода его по причине убавления воды для вибрированных бетонов. Наклон левых ветвей кривых, отвечающих бетонам жирным, получился почти одинаковым и поэтому коэффициенты жирности для обоих сортов бетона при одном и том же расходе цемента различались между собой мало. Для номинального состава $1 : n = 1 : 7,3$, приблизительно отвечающего расходам цемента 280 кг/м^3 , коэффициент

жирности получился для контрольного бетона

$$\theta = \frac{0,222}{0,2} = 1,11 \text{ и для}$$

вибрированного — $\theta = \frac{0,213}{0,191} = 1,115$.

Результаты опытов привели к следующего рода интересным выводам. Если в плотностных расчетах не считаться с весьма возможным различием в свойствах цементного камня в бетоне контрольном и бетоне вибрированном и учитывать единственно различие в выходах цемента, то по линии коэффициентов жирности мы не можем усмотреть особой разницы между двумя сортами бетона. В обоих бетонах переход за номинальный состав $n = 8,8$ с расходом цемента около 240 кг/см^3 угрожает переходом к бетонам тощим. В то же время литературные источники содержали сведения об укреплении плотностных качеств бетонов, что находило отражение в результатах соответствующих опытов на водонепроницаемость и морозоупорность. О том же говорили некоторые опыты свирьстроевской механической лаборатории, об этом же свидетельствует некоторое приращение объемного веса бетона при вибрировании. Тем не менее, не имея в своем распоряжении результатов систематического опытного материала, непосредственно связанного с местными условиями, и считаясь с новизной мероприятия, мы не решились отойти от принятой для проектирования бетонов плотностной схемы. Но зато мы приняли во внимание сведения о большей мере равномерности вибрированного бетона, которая нашла подтверждение в некоторых лабораторных опытах свирьстроевской механической лаборатории. Большая степень равномерности дает возможность к уменьшению значения коэффициентов жирности. Для вибрированного бетона мы приняли расчетное значение коэффициента жирности $\theta = 1,07$, что определило номинальный состав $1 : 8$ с расходом цемента на 1 м^3 бетона в 260 кг , т. е. меньше расхода для основной марки № 1 бетона не вибрированного на 20 кг/м^3 , что по линии цемента обеспечило экономию в $1 \text{ руб. } 20 \text{ коп.}$ на 1 м^3 . Водоцемент в марке для вибрированного бетона был $0,56$. Практика укладки бетона подтвердила осторожность Свирьстройа, который, находясь в определенных условиях, не пошел сразу на значительное снижение расхода цемента. В периоде освоения нового метода работы случались непредвиденные производственные неувязки, возникали новые вопросы, переделывались вибраторы, и значительное снижение порции цемента могло бы привести к ряду производственных недоразумений и к ущербу для качественной стороны сооружений. Вопрос о дальнейшей экономии цемента в случае вибрирования бетона необходимо поставить на будущих стройках, которые будут иметь в своем распоряжении с самого начала испытанные и производственно надежные приборы, детально разработанные приемы работ и исчерпывающие исследования в отношении технологической стороны дела. Свирьстрой не имел полных к тому возможностей. Ему удалось с применением вибрирования уложить около $10\ 000 \text{ м}^3$. К этому сроку мы добились уверенной работы принятого типа вибролопаты, но в этот яге момент закончена была массовая кладка бетона по плотине второй очереди.

§ 4. Изготовление и транспорт бетона

Считаясь с уменьшенным значением коэффициента жирности для марки вибрированного бетона, при изготовлении бетона было обращено особое внимание на соблюдение равномерностных свойств бетона. Новых мероприятий в данном отношении не вводилось, но с большой строгостью следили за выполнением установившихся правил, например, представители механической лаборатории чаще проверяли различ-

ные стороны работы на бетонном заводе и, в частности, чаще производили поверку степени заполнения мерных ящиков и хорошей работы цементных весов.

Таким же образом тщательнее следили за своевременной доставкой бетона к блоку. При задержке в транспорте бетон начинал густеть, спływ уменьшался и производительность вибраторов, естественно, падала. Особое внимание обратили на аккуратную и систематическую чистку бадей и т. п. Следует отметить, что не оправдались опасения в отношении затруднений при опорожнении бадей с более сухой бетонной массой, которая вываливалась из бадей хорошо.

§ 5. Подготовка и приемка блоков

В соответствии с ежесуточным заданием электроотдел заблаговременно протягивал воздушную проводку от магистрали к блоку, причем следили, чтобы проводка в пределах блока натягивалась с расчетом никак не мешать работе дерриков по подаче бадей с бетоном и не мешать свободному доступу рабочих в блок. По-видимому в ряде случаев, как это и имело место иногда на Свирьстрое, лучше проводку в пределах блока производить то опалубке с заключением проводов в резиновую трубку или укладывать бронированный кабель.

В блоке заранее ставились щитки, на которых в кожухе были смонтированы рубильники, предохранительные пробки и клеммы с обеих сторон. Такие щитки всегда должны быть в достаточном количестве в кладовой вибраторов. Щитки часто ставились вне пределов блока или очень высоко. Здесь играли роль опасения представителей техники безопасности, которые требовали, чтобы рабочий, стоя на поверхности бетонной массы, не смог оперировать рубильником. Такое требование, может быть и вполне законное, вносило ряд неудобств, так как при каждом включении или выключении вибратора приходилось добираться до далеко расположенного рубильника. Требование это подчас обходилось и щитки устанавливались в углу блока на высоте 2,0 м от дна блока с тем, чтобы бетонщикам было удобно пользоваться рубильником, не уходя из блока. В таком случае по мере подъема с бетонировкой щитки соответственно поднимались. По-видимому вопрос о расположении щитков с производственной точки зрения теряет свою остроту с момента снабжения вибраторов безопасным выключателем на самом вибраторе. При специальном безопасном выключателе на приборе устраняется нужда в частом пользовании рубильником на щитке. С постановкой безопасного рубильника на самом приборе на Свирьстрое не оправались отчасти потому, что преимущественное внимание привлекали другие, более важные с производственной точки зрения детали, а отчасти по сравнительной сложности задачи. При заводском изготовлении вибраторов необходимо будет снабдить их таким рубильником, при котором будет достигнут целый ряд производственных удобств. При установке щитка на блоке электромонтер кончает свою работу, лишь убедившись, пробой электролампой, в наличии тока в рубильнике. Следует иметь в виду, что рубильники щитков в толевой обстановке вследствие частых перестановок щитков могут портиться и при плохом контакте в рубильнике будут включаться только две фазы, что вызовет гудение в моторе без вращения его. В таких случаях следует незамедлительно -выключить рубильник и привести его в порядок.

При работе двумя поверхностными вибраторами щитки необходимо располагать в противоположных по диагонали углах блока.

При заказе вибраторов в кладовую при неармированном бетоне предусматривался на один деррик один платформенный вибратор и одна вибролопата, при двух работающих дерриках — две вибролопаты и один или два вибратора.

При легко армированном бетоне на каждый платформенный вибратор следует иметь две вибролопаты, а при более армированном бетоне следует иметь вибролопаты в количестве двух, трех на один работающий деррик.

При подготовке блока следует обращать внимание на подводку осветительной линии. Хорошее освещение необходимо и при обычной кладке, бетона. При применении же вибраторов, по-видимому, на это обстоятельство следует обратить сугубое внимание и расположение осветительных точек необходимо задавать с расчетом достигнуть отчетливой видимости всех частей блока. Дежурный производитель работ, в чью смену ведется подготовка к бетонированию блока, должен лично проверить как осветительную подводку, так и рабочую, чтобы не случилось недоразумений в следующей смене.

При укладке вибрированного бетона вряд ли можно избежать случаев, когда работающий деррик не в состоянии обслужить весь блок и бетонную массу необходимо подавать лотками. Конечно таких случаев следует избегать. Тем не менее, они были в практике Свирьстроя. Получавшиеся затруднения легко обходились, так как применение новых методов работы развивалось на фоне происходившей бетонировки пластичным бетоном, путем отказа от вибрированного бетона и перехода на бетон обыкновенный. Этот вопрос приобретает особую важность в случае перехода на бетонирование исключительно с вибраторами. Решение, по-видимому, следует искать в применении вибрирующих лотков. Некоторые опыты в этом направлении производились с электромагнитными вибраторами, эффект усиления оползания бетонной массы подмечен, но подробных наблюдений сделано не было. Особые надежды здесь следует возлагать на тисковые конструкции вибраторов (см. поверхностный вибратор с эксцентриками на валу мотора).

При подготовке блока под укладку бетона с вибрированием со всей тщательностью необходимо следить за хорошей и надежной установкой опалубки во избежание отхода ее при бетонировке. Стяжки, притягивающие опалубку к анкерам, заложенным в старый бетон, следует ставить для каждого горизонтального бруса опалубочного звена через расстояние в 1,5—2 м, что на обыкновенный опалубочный щит даст не менее 9 стяжек. Длина звена стяжки, идущего от опалубки, должна быть не менее 1—1,5 м. Стяжки должны хорошо натягиваться при помощи наваренной на стяжку резьбы и не должны уступать боковому нажатию рукой; их нельзя делать из проволоки. В подходящих случаях дополнительно следует ставить подпоры снаружи блока. Необходимо восстановить забытое правило разметки установки опалубок. На опалубке, делаются наметки карандашом против торцов подходящей сбоку опалубки с целью наблюдения за возможностью сдвига во время укладки бетона.

При подготовке блока приходится считаться с размещением арматуры по блоку и сообразовать с этим обстоятельства бетонирования. Например, наличие густой верхней сетки принуждало или к отказу от

вибрирования в данном блоке или к замене вибрирования утаптыванием пластичного бетона при подходе к сетке, или к укладке сетки) во время бетонирования блока. Все эти решения имеют свои недостатки. По-видимому, здесь в случае применения вибрирования или следует проектировать сооружения в полном соответствии с производственными возможностями данных типов вибраторов, или же необходимо принориться к существующим приемам проектирования и обеспечить стройку достаточным количеством таких вибраторов, которые в состоянии взять арматуру большой густоты

Три приемках блоков, подготовленных к бетонированию, бетонной инспекцией соблюдались все правила, установленные практикой в этой области. В отличие от обычной приемки представитель бетонной инспекции обращал особое внимание на устойчивое закрепление опалубок и убеждался в окончании работ по электропроводам.

§ 6. Укладка бетона

Практика показала, что заказ бетонному заводу на подачу бетона следует производить лишь по убеждению в полной готовности вибраторов к работе, так как укладка бетона, предполагаемого к вибрированию, чрезвычайно затруднена другими способами.

Укладку бетона с вибрированием нельзя производить без достаточного технического присмотра. На каждом блоке должно быть специальное лицо (десятник, старший рабочий), которое отвечает за добротную проработку каждого замеса и несет непосредственную ответственность за укладку бетона с качественной стороны. Лицо это ее должно отвлекаться на какие-либо другие работы. Старший производитель работ должен занести запись, из которой видно, какие ответственные лица были на тех или других блоках.

Ответственный по блоку получает вибраторы из кладовой электроотдела и при получении вибратора с ременной передачей получает из кладовой два ремня, один из которых является запасным. При выходе из строя ремня запасный ремень меняется в кладовой.

При выдаче вибратора из кладовой дежурный монтер убеждается в работоспособности вибратора путем пробы его в ящике со слоем сухого песка в 20 см. Не рекомендуется приводить в действие вибратор, когда он находится на твердом основании, например на старом бетоне. При некоторой неуверенности в работе вибраторов на Свирьстрое старались подле блока держать по одному запасному вибратору и вибролопате, что и следует иметь в виду в будущем. При получении уверенности в безусловной надежности работы вибратора данного типа такая мера, по-видимому, теряет остроту.

Каждый вибратор должен быть, естественно, снабжен гибким многожильным проводом длиной 12 м, заключенным в предохраняющий его резиновый шланг диаметром $1/2$ ". Провода часто кончались кое-как, но, по-видимому, их следует снабжать наконечниками, допускающими быстрое и безопасное присоединение к рубильнику. Вибратор должен быть снабжен заземляющим четвертым проводом, причем щиток также должен быть снабжен четвертой клеммой, к которой одновременно с подводкой тока должен быть подведен провод, соединяющий щиток с «землею» (арматурой и т. п.). Практика показала, что за этим проводом следует следить. Он не должен проходить в местах с сильным движением, так как в таком случае может быть поврежден. Особо»

примечательных каких-либо случаев, показавших электроопасность вибраторов и вибролопат, на Свирьстрое не было. Тем не менее необходимо отнестись к этому вопросу со всей серьезностью вследствие постоянного нахождения бетонщиков во влажной среде. Более или менее полную гарантию по этой линии, видимо, можно получить лишь при переходе на ток более низкого напряжения, порядка 45—60 в.

В соответствии с опытом Свирьстроя можно привести следующие соображения о числе рабочих на блок. Прежде всего на каждый поверхностный вибратор необходимы два человека и на вибролопату — один человек. При работе в блоке одного поверхностного вибратора и одной вибролопаты в дополнение к трем функционерам добавляются два человека для открытия и чистки бадей и прочих работ, например раскидывания лопатой галечных гнезд и т. д.

Перед приступом к бетонированию блоков с вибрированием, как и в обычных блоках, следует сначала старый бетон смочить водой, а затем промыть бетонную постель цементным молоком, которое и втереть тщательно стальными проволочными щетками в старый бетон. Втирка молока производится на части площадки, которая будет покрываться бетоном не позже, как через час. Большое внимание следует уделить укладке первого слоя, в особенности равномерному распределению гальки в массе первого слоя.

При приемке бадей в блок соблюдались все обычные правила. По-видимому большее внимание следует уделить достаточному удалению бадьи от опалубки при опорожнении. Поверхностный вибратор, по крайней мере, при наличной мощности не мог проработать толстый слой, а растащить вибратором бетонную кучу от опалубки часто бывает не легко (наличие штраб, стяжек и боковых поверхностных арматурных сеток и пр.). Поэтому ответственное по блоку лицо должно строго следить, чтобы опорожнение бадьи никогда не происходило ближе, чем за 75 см, считая от края бадьи до опалубки или до прилегающей стенки соседнего блока. Во всяком случае нижняя кромка высывавшейся кучи не должна доходить до опалубки или до бетонной стенки. В том случае, когда не представляется возможным выполнить это требование, в месте завала бетоном опалубки следует тщательно штыковать вибролопатой с таким расчетом, чтобы на 1 пог. м завала было сделано 4—5 погружений вибролопаты. Скорость вытаскивания вибролопаты должна быть настолько замедлена, чтобы под вибролопатой бетон успевал затечь. Кроме того, вибролопатой следует пытаться растащить бетон в сторону от опалубки.

В отношении самой укладки после ряда наблюдений и опытов утвердился следующий порядок. Обработка бетонной кучи начинается с растаскивания при помощи поверхностного вибратора бетонной кучи на площадь не менее 6—7 квадратных метров с тем, чтобы толщина слоя была не более 25—20 см. Количество перестановок вибратора при этом должно быть не менее 10. Растаскивание бетона сопровождается сильным нажимом рабочих как на рукоятку руками, так и на платформу ногами.

После растаскивания бетона производится обработка бетона путем перестановок вибратора с места на место и при выдерживании работающего вибратора на каждом месте в течение нескольких секунд. При обработке растасканного слоя также необходим нажим на вибратор, так как при этом производительность вибратора возрастает. При размерах платформы 45 X 90 см общее количество перестановок должно бы быть

15, но учитывая, что при перестановках вибратором захватывается часть площади, обработанная ранее, количество перестановок на один замес должно быть равным около 20. Таким образом о растаскивании бетона общее количество перестановок вибратора при емкости бабды в $1,5 \text{ м}^3$ получается около 30 и на одну перестановку в среднем приходится 50 дм^3 переработанной массы. Укладка бетона в блоки с применением вибраторов показана на рис. 91 и 92.

Продолжительность работы вибратора на одном месте определялась временем, которое необходимо, чтобы образовался ясно видимый сверху

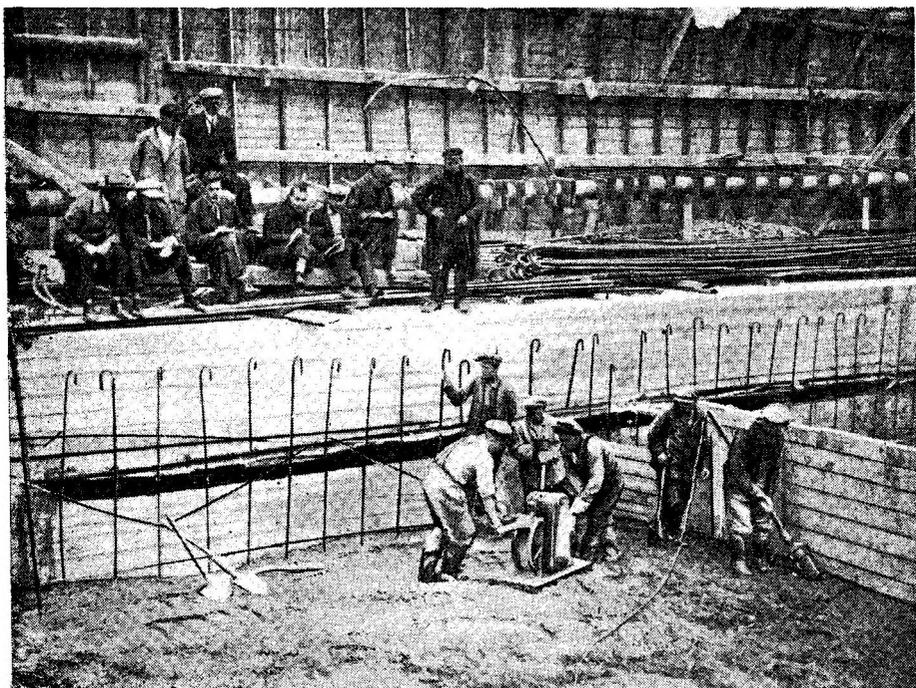


Рис. 91. Укладка бетона в блок с применением поверхностного вибратора и вибролопаты.

слой пластичного бетона, причем платформа вибратора должна погрузиться в бетон до верхней кромки и жидкость из бетона должна начать заплывать на платформу. В механической лаборатории был сделан интересный опыт по наблюдению за тем, что делается с бетоном во время вибрирования, для чего в форме для кубического образца одна из сторон была сделана стеклянной. Через стекло можно наблюдать, что после оседания массы цементное тесто становится жиже и течет вниз. По заполнении нижних слоев инертного цементное тесто постепенно поднимается до самого верха образца и показывается на верхней его поверхности. Таким образом в полевой обстановке определенный порядок проработки бетона гарантировал пропитывание цементным тестом пустот в лежащем под вибратором бетонном слое. При толщине слоя в 20—25 см по распалубке блока поверхность бетона представлялась в виде однообразной массы без намеков на стыки, разделяющие один вибрированный слой от другого. Это показывало на то, что по-

верхностный вибратор данной конструкции вполне оправлялся с проработкой слоя назначенной толщины. На рис. 93 показана правая часть плотины, где бетон частично укладывался с применением вибраторов.

Поверхность бетона в блоке после хорошей проработки получала блестящий, маслянистый оттенок. По краям бетонная куча разрабатывалась на нет, почему каждая разработанная куча растворялась среди остальной массы бетона и не выделялась резким пятном. Чрезмерно длительная работа вибратора на одном и том же месте нежелательна, так как она может повлечь за собой выделение на поверхности значи-

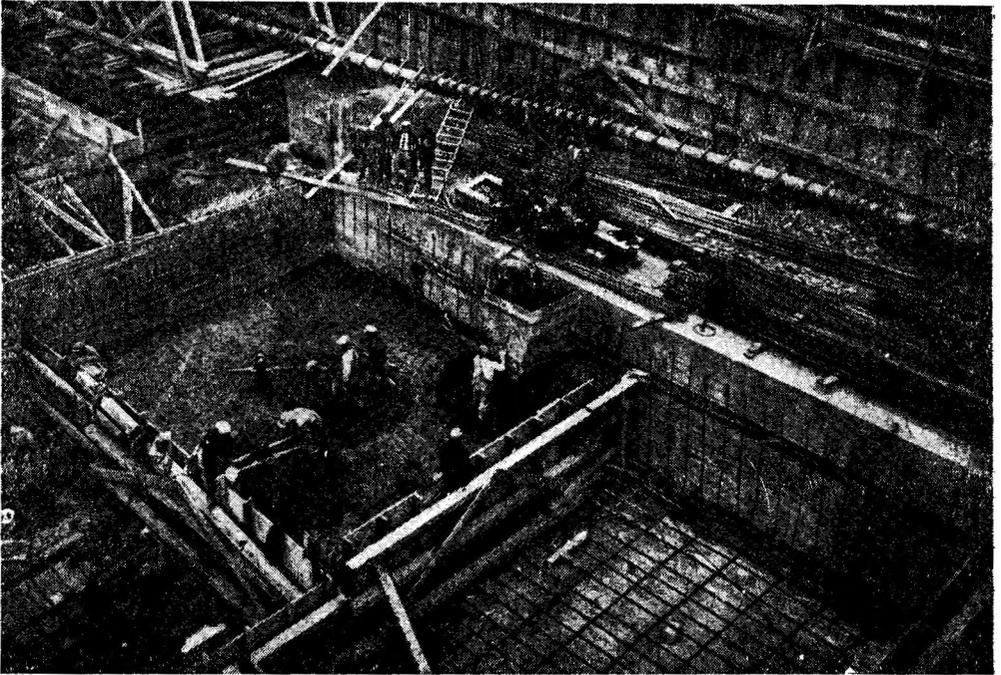


Рис. 92. Укладка бетона в блок с вибраторами.

тельного количества цементного молока и вызовет неравномерную структуру слоя.

Особое внимание обращалось на плотную укладку бетона у опалубки ввиду важного значения поверхностей блока и возможности при жестком бетоне прежде всего получить раковинистые места у опалубки. Для проработки бетона у опалубки должна применяться в обязательном порядке вибролопата. Вибролопату протаскивают в бетонной массе вдоль опалубки на расстоянии 10—15 см от опалубки. Скорость протаскивания должна быть такой, чтобы образовалась у опалубки жидкая бетонная масса. Протаскивание вибролопаты делается не только у опалубки, но и у стенок старого бетона. Если поверхность окончательная, наружная, то вслед за вибролопатой необходимо пройти (прорезать) обыкновенной лопатой (лучше лопатой с отверстиями в 2,5 см), производя отжимку бетона от опалубки. После прорезания лопатой слой у опалубки следует пройти утаптыванием.

Приведем результаты хронометража укладки бетона с применением вибрирования. Работали два вибратора и одна вибролопата при семи рабочих. Принято было всего 62 бады или 93 м³. Степень пластин-

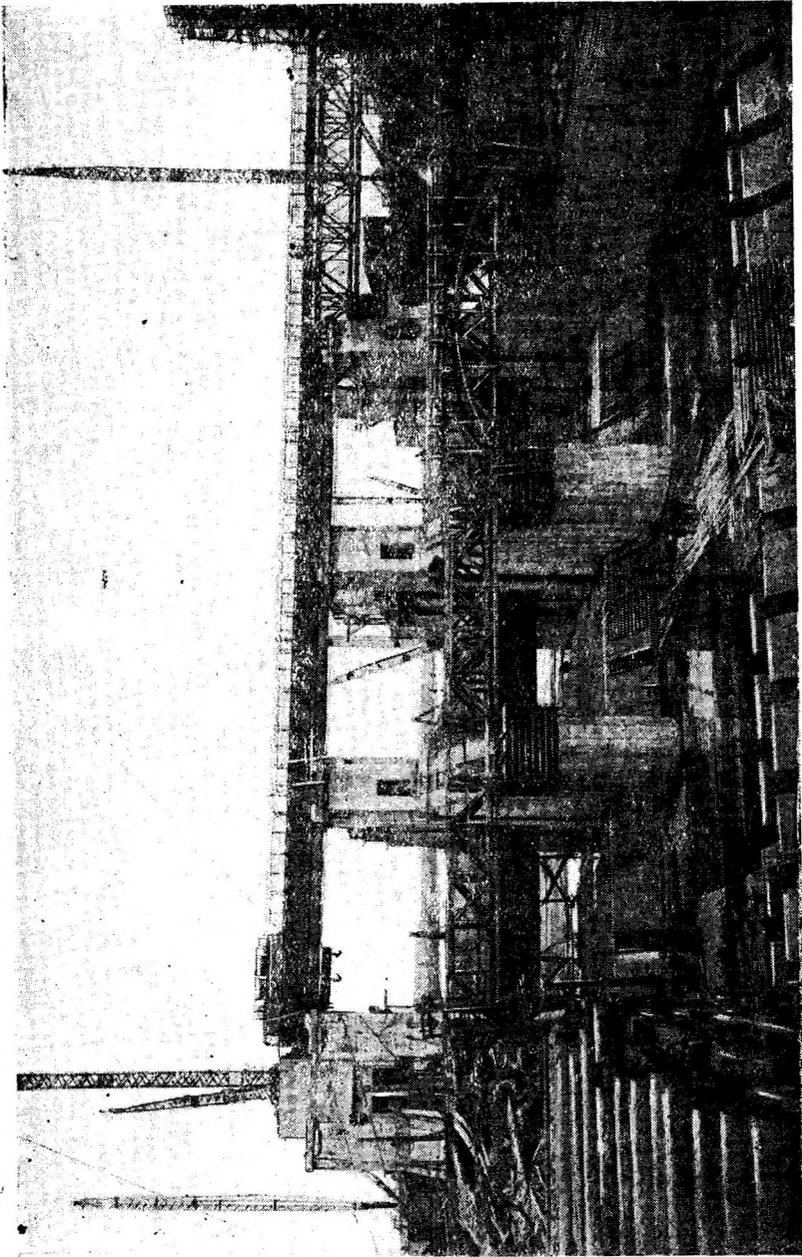


Рис. 93. Правая часть плотины.

ности бетона характеризовалось спływом 2—5 см. На 1 уложенную бадью потребовалось:

- 1) на открывание и опорожнение бады около 2,3 чел/мин;
- 2) на закрывание и чистку бады около 2,5 чел/мин;

3) на работу вибраторами около 7,7 чел/мин, что отвечает работе вибратором 3,85 \approx 4 мин;

4) на работу вибролопаты 0,7 чел/мин (на 1 м² боковой поверхности работы вибролопаты приходилось около 0,8 чел/мин);

5) на разравнивание лопатой около 5,1 чел/мин;

6) на утаптывание ногами 2,4 чел/мин.

На основании этих данных и некоторых других наблюдений предельные производительности вибраторов определились: поверхностного вибратора в 20 м³/час и вибролопаты в 8 м³/час. Фактические производительности вибраторов будут меньше, так как на практике всегда получаются простои, размер которых зависит от системы и совершенства организации дела.

По мере усовершенствования вибролопаты выяснилась ее ценность. В частности, произведены опыты по растаскиванию бетонной кучи после опорожнения бады в блоке. Для этого помещают работающую вибролопату в вершине кучи, слегка удерживая ее для того, чтобы она не вошла слишком глубоко внутрь бетона, двигают ее вниз к подошве кучи, причем вибролопата гонит перед собой вниз образующийся валик разжиженного бетона. Количество передвижек вибролопаты получается 15—20. Растаскивание кучи вибролопатой сопровождается значительным выделением воздуха из бетонной массы, попавшего туда при перемешивании в бетоньерке и при опорожении бетоньерки и бады. После растаскивания обработка слоя производится поверхностным вибратором.

Достоинство вибролопаты определяется ее способностью проходить вдоль стенки, входить в узкие места и опускаться при работе вглубь бетонной массы.

В тех случаях, когда по условиям очертания блока растаскиваемый замес ложится слоем заметно больше 25 см и не представляется возможным излишки бетона перекидать в другое место, тогда поверхностный вибратор оказывается не в состоянии проработать хорошо толстый слой. В таких случаях необходимо в обязательном порядке применять вибролопату для вибрирования всей массы уложенного бетона и не только около опалубки, но и внутри массы.

При вибрировании мест с наличием арматуры в углах, в штрабах, где легко получить неплотную укладку бетона и раковины, также производится дополнительная обработка свежеложенного бетона вибролопатой.

Остановимся на обстоятельствах неизбежной задержки в подаче бетона, которая бывает на работах при аварии транспортных механизмов или дерриков. При равных прочих условиях уложенный вибрированный бетон склонен скорее твердеть. Во время вынужденных перерывов можно повторной проходкой вибраторами поддерживать верхнюю поверхность бетона в пластичном состоянии. К укладке первого слоя бетона, укладываемого после вынужденного перерыва, необходимо, само собой понятно, отнестись строго и внимательно, иначе легко получить крайне вредную слоистость, идущую далеко вглубь блока. Повидимому, при затаившемся перерыве в подаче бетона необходимо прибегать к запрещению продолжения бетонировки с тем, чтобы к дальнейшему бетонированию можно было бы приступить лишь после соответствующего срока твердения и после соответствующей подготовки верхней поверхности блока (сколка пленки и пр.). Следует установить предельный срок перерыва. На Свирьстрое в соответствии

с практикой пластичного бетона предельного срока придерживались в 1—1,5 часа.

В отношении излишней воды в блоке при укладке вибрированного бетона поступали так же, как и в случае пластичного бетона. В случае вибрированного бетона попадание посторонней воды еще менее желательно и легче приводит к обмыву инертных частиц. Поэтому следует следить, чтобы в блок не попадала вода из насосных труб и т. п. При появлении воды в блоке, например при дожде, воду необходимо вычерпывать совком, сливать в ведро и выносить за пределы блока. При спуске воды через нарочно сделанное отверстие в опалубке или через зазор между досками опалубки уходящая вода обмывает инертные.

В соответствии с прежде сказанным при укладке вибрированного бетона следует иметь аккуратное наблюдение за состоянием опалубки. Если заметят отход опалубки, то необходимо немедленно принять меры по укреплению опалубки, а именно подтянуть тужи или поставить подпоры для возвращения опалубки на старое место. Так как вибрированный бетон менее пластичен, то следует ожидать при отходе опалубки большей возможности образования трещин. По-видимому и здесь следует вспомнить забытое правило и проверять путем натягивания шнура наличие прогиба опалубки и принимать меры к устранению замеченного прогиба.

Учитывая мощность поверхностного вибратора при подходе бетона к верхним штрафам, когда иногда бывает трудно соразмерить остающийся объем бетонирования с величиной замеса, следует следить, чтобы бетон намеренно не укладывался толстым слоем — толще 20 см, и прибегать к распределению бетона по двум штрафам или посредством перекидки лопатами, или посредством приемки бетонного замеса на временные мостки через штрафное корыто и последующей раскидки бетона по двум соседним штрафам и последующим вибрированием.

Учитывая более скорое твердение вибрированного бетона, не следует при окончании блока упускать возможность своевременной установки анкеров, необходимых для укрепления в последующем опалубки вышележащих блоков.

Дежурный монтер при укладке бетона целиком по своей линии должен нести ответственность за непрерывность в укладке бетона, поскольку она зависит от исправного действия вибраторов и хорошего состояния проводки. Он не должен находиться все время в полевой кладовке вибраторов, а должен периодически посещать блоки, убеждаться в нормальном ходе работы, предвидеть и предупреждать могущие возникнуть неполадки. При всякой жалобе рабочих на наличие тока, замечаемого при прикосновении к вибратору, при каждом повреждении резинового шланга для шнура монтер принимает меры к ликвидации недостатков или к замене вибратора и переносной проводки.

§ 7. Забота об уложенном бетоне и контроль бетона

Наличие на поверхности уложенного бетона мелких углублений, остающихся от выступов платформы вибратора, не освобождает от необходимости удаления цементной пленки. По сравнению с обыкновенным бетоном удаление цементной пленки с помощью проволочных стальных щеток вследствие более быстрого твердения бетона следует производить несколько раньше и особое внимание необходимо обратить на очистку упомянутых углублений.

Снятие опалубки для блоков, уложенных с вибрированием, можно производить несколько раньше, чем для обычных блоков, а именно срок твердения до распалубки в свирских условиях можно было сокращать на $\frac{1}{4}$, т. е. в летнее время через 18, а в осеннее — через 36 часов.

Особые соображения о поливке блоков, уложенных с вибрированием, неизвестны. По-видимому в связи с усиленным твердением цемента в вибрированном бетоне потребность в поливке блоков нужно считать не меньше, а больше.

В отношении заделки раковинистых мест большого опыта на Свирьстрое не было, но, по-видимому, здесь сохраняются (правила, обычные для пластичных бетонов.

До сих пор не существует правил по контрольным проверкам бетонных масс на прочность. Вопрос заключается в воссоздании в контрольных образцах степени уплотнения бетонной массы, идентичной полевому бетону. На Свирьстрое применялось правило пятиминутного вибрирования пневматическим вибратором.

На этом заканчивается описание укладки бетона с применением вибраторов на Свирьстрое и обстоятельств, связанных с этой укладкой. Опыт, проведенный на Свирьстрое, является первым в СССР началом широкого производственного внедрения вибраторов.

Внедрение вибраторов протекало одновременно с их изготовлением силами Свирьстроя, с испытаниями, необходимыми исправлениями и т. д. Эти обстоятельства, а также новизна этого дела, полное отсутствие какого-либо конкретного опыта другой стройки, — все это усложняло введение нового метода.

Тем не менее следует отметить важность полученных производственных наблюдений и установленных изменений прибора. Мы теперь ясно видим, в каком направлении следует идти при дальнейшем совершенствовании аппаратуры. Также выясняется необходимость обстоятельного изучения некоторых вопросов технологического порядка. Мы ясно видим, что вибрирование бетона способно во многом улучшить постановку бетонного дела, но что оно вместе с тем требует для своего проведения специальной производственной обстановки. К настоящему моменту вибрирование бетона появляется в виде сильного соперника обычному пластичному (сплыв 6—9 см) и литому бетону. Выбор рода бетона в каждом конкретном случае должен решаться на основе учета местных проектных и производственных особенностей данного сооружения, а также учета специфических особенностей того или другого метода ведения работ. Следует надеяться, что опыт Свирьстроя даст возможность при выборе варианта производства работ выставлять метод вибрирования в качестве более или менее определенного производственного варианта.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие	3
-------------------	---

Инж. С. Я. Выгодский

НОВЕЙШИЕ ТЕНДЕНЦИИ ЗАГРАНИЧНОЙ ПРАКТИКИ В ОБЛАСТИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ БЕТОНОВ

Глава I. Бетонные плотины США.....	6
§ 1. Усадка бетона и основные мероприятия по борьбе сней.....	—
§ 2. Применение специальных цементов для борьбы с усадочными явлениями на плотине Баульдер	9
§ 3. Характеристика бетона и описание производства работ помощью кабельных кранов при пластичных бетонах на плотине Баульдер	14
§ 4. Характеристика бетона и описание производства работ другими способами при мало пластичных, пластичных и сильно пластичных (полулитых) бетонах.....	23
§ 5. Организация работ на плотине Норрис.....	33
§ 6. Опытная и исследовательская работа в США.....	39
§ 7. Оодная таблица и выводы.....	60
Глава II. Бетонные плотины и массивы Зап. Европы.....	61
§ 1. Италия.....	—
§ 2. Франция.....	69
§ 3. Германия и Австрия.....	79
§ 4. Чехо-Словакия.....	93
§ 5. Швейцария.....	94
§ 6. Скандинавские страны.....	97
§ 7. Сводная таблица и выводы.....	99
Глава III. Вопросы экономики и общие выводы.....	105
§ 1. Требования экономичности в отношении массового бетона.....	—
§ 2. Заключительные выводы.....	107

Инж. Р. А. Мейер

БЕТОНЫ КАНАКИРСТРОЯ

§ 1. Характеристика условий строительства Канакирской гидростанции.....	119
§ 2. Требования, предъявляемые к бетонам в отдельных видах сооружений: железобетон, массивы, облицовка.....	123
§ 3. Результаты изучения влияния углекислых вод на цемент и принятые мероприятия по обеспечению устойчивости бетона.....	—
§ 4. Результаты изучения применения искусственного песка и пылевидных добавок в гидротехнических сооружениях.....	130
§ 5. Результаты изучения бетонов на сложном вяжущем растворе с применением расхода портланд-цемента.....	137
§ 6. Принятые дозировки с характеристикой инертных и их гранулометрического состава и качества бетона.....	144
§ 7. Организация бетонных работ на строительстве.....	148
§ 8. Полевой контроль бетона.....	158
§ 9. Заключение.....	154

Инж. Н. Ф. Хоциалов

БЕТОН СВИРЬСТРОЯ

	<i>Стр.</i>
Глава I. Общие сведения	158
Глава II. Механизация бетонных работ	163
1. Промывные устройства.....	164
2. Канатная дорога.....	174
3. Цементные силосы.....	178
4. Бетонный завод.....	184
5. Бадья.....	191
6. Транспорт бетона к месту укладки.....	192
7. Деррики.....	195
8. Арматурные мастерские.....	—
9. Опалубочные мастерские.....	197
10. Бетонный двор.....	—
11. Лесопильный завод.....	198
Глава III. Испытания и состав бетона	200
1. Механическая лаборатория.....	—
2. Цемент.....	203
3. Инертные материалы.....	213
4. Испытания бетона на водонепроницаемость.....	222
5. Основные положения подбора плотного бетона.....	228
6. Составные пропорции бетона.....	241
7. Укладка пластичного бетона.....	245
8. Объемные изменения бетона.....	252
Глава IV. Укладка бетона в зимнее время	267
1. Организационная сторона дела.....	268
2. Коэффициенты теплопотери.....	276
3. Инструктивные температуры подогрева бетона.....	283
4. Подогрев материалов на бетонном заводе.....	290
5. Забота о твердеющем бетоне.....	296
6. Затруднения в обработке полевых данных.....	301
7. Блоки плиты камеры шлюза в тепляке.....	302
8. Схема обработки материала.....	304
9. Зависимости температур в бетоне от различных факторов.....	305
10. Порядок остывания.....	309
11. Способы расчета остывания блоков.....	313
12. Распределение прочностей по блоку.....	314
13. Температурный график по дням.....	316
14. Распространенный случай кладки в тепляках.....	317
15. Блоки с утепленной опалубкой.....	319
16. Блоки весенние и летние.....	325
17. Электропрогрев бетона.....	328
Глава V. Укладка бетона с вибраторами	331
1. Некоторые замечания организационного характера.....	334
2. Описание вибраторов.....	335
3. Лабораторные опыты и составная пропорция бетона.....	340
4. Изготовление и транспорт бетона.....	342
5. Подготовка и приемка блоков.....	343
6. Укладка бетона.....	345
7. Забота об уложенном бетоне и контроль бетона.....	351

