

ВКАЗСКИЙ ИНСТИТУТ СООРУЖЕН...

ВЫПУСК VII

а^у15718

Ю. Я. Штаерман

41436

БЕТОНЫ

ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОЕКТИ-
РОВАНИЕ БЕТОНА

Часть I

ТЕХНИКА Д. ШРОМА

ТИФЛИС—1933 г.

15718

Депозитарий

ЗАКАВКАЗСКИЙ ИНСТИТУТ СООРУЖЕНИЙ.

66 ТРУДЫ

ВЫПУСК VII.

Ш 88
Ю. Я. Штаерман.

БЕТОНЫ

ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОЕКТИ-
РОВАНИЕ БЕТОНА

Часть I.

11385767
8.8.51
15.8.51

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

Техника и Шрома

ТИФЛИС—1932

ПОГАСНЕНО

Літэратура

Б С С Р
Дзяржаўная бібліятэка
імя В. І. Леніна
№ 9593

20 09

1966

Типография ПОЛИГРАФСКОЛЫ, ул. Акакия Церетели, 3.

Заказ 1097.

Главлит 1230.

Тираж 8000.

От Дирекции Закавказского Института Сооружений

Настоящая книга является обобщением, углублением и дальнейшим развитием работ Закавказского Института Сооружений в области проектирования состава бетона. Опубликование работы старшего научного сотрудника Института инж. Штаермана, ЗИС считает вполне своевременным не только потому, что в настоящее время ценно каждое новое слово, могущее помочь целесообразно использовать и экономно проектировать бетоны, но и потому, что установки ЗИС'а встретили явно сочувственное отношение среди специалистов-бетонщиков. О последнем свидетельствуют быстрая и полная реализация двух предыдущих изданий ЗИС'а („Бетон“ выпуск первый 1930 г. „Бетон“ выпуск второй 1931 г.) а также благоприятные отзывы заграничной прессы, напр. *Beton und Eisen* (1931 г. № 12 и 1932 г. № 3) где редакцией объявлено о предстоящем помещении особой статьи, посвященной упомянутым работам ЗИС'а.

Для цельности впечатления в настоящей книге помещены материалы частью уже опубликованные в других местах, а именно:

1. Повторяется пример проектирования состава бетона для обделки напорного тоннеля Дзорагеса (опубликовано в издании ЗИС'а, „Бетон“ выпуск первый)

2. Дается номограмма инженера В. В. Михайлова для проектирования состава бетона (опубликована в издании ЗИС'а „Бетоны“ выпуск второй);

3. Помещается (см. приложение) инструкция по проектированию состава бетона и контролю его в производстве работ (опубликована в издании ЗИС'а „Бетон“ выпуск второй; в настоящей книге инструкция дополнительно проработана в связи с дальнейшим развитием приемов проектирования);

4. Вновь дается проектирование состава бетона для набережной и обделки дна р. Темерник в Ростове на Дону (этот пример приведен в статье инж. Штаермана и Яшвили „Физикоаналитический метод составления бетонов“, принятой к напечатанию Всесоюзным Институтом Сооружений в 1931 г., но до сих пор еще не опубликованной)

Кроме того, в приложении к книге дана переводная статья шведских инженеров Вернера и Гирц-Гедстрема, которые произвели большую работу по изучению бетонов в лабораториях Академии инженерных наук в Стокгольме и которые весьма близки к установкам, проводимым в исследованиях ЗИС'а. В примечаниях к переводу инж. Штаерман приводит это сравнение, анализ и критику взглядов упомянутых шведских исследователей.

Выпуская книгу, Закавказский Институт Сооружений ожидает получить от специалистов-бетонщиков, исследовательских институтов и лабораторий деловую критику, которая могла бы помочь дальнейшей работе по уточнению методов проектирования и полного овладения технологией бетона.

Дирекция.

Предисловие

Классический бетон на базе портланд-цементного теста и отощателя прочной породы развился в настоящее время в обширное семейство бетонов. Современные бетоны проектируются разнообразнейших качеств и отличаются друг от друга родом вяжущего вещества, свойствами отощателя и методом изготовления. В настоящее время мы имеем не бетон, а бетоны.

Весьма заманчиво первоначально дать общую теорию бетона и перейти затем к рассмотрению отдельных специальных случаев, но для простоты изложения мы предпочли путь индукции.

В первой части нами дается теория классического бетона. Во втором — мы развиваем общую теорию бетона, а затем рассматриваем отдельные специальные случаи.

Публикуемая работа является пособием по технологии бетона и содержит не только сведения о проектировании состава бетона и контроле качества в работе, но и указания об уходе за свежей кладкой, о предохранении бетона от воздействия агрессивных факторов и т. п.

В заключении мы переходим к железобетону. Железобетон развился в семейство армоматериалов, занимая в этом семействе такое же место, как классический бетон в семье современных бетонов.

Учет технологических факторов в формулах для расчета армоматериалов открывает широчайшие перспективы и обещает значительный экономический эффект.

Вся оригинальная экспериментальная работа, упоминаемая в нашем труде проведена лабораторией Сектора Бетонов Закавказского Института Сооружений (ЗИС).

Отдел первый

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Цементное тесто. Цементный камень

Классический бетон В момент своего изготовления является более или менее податливой массой, состоящей из песка (естественного или дробленного), гравия (или щебня прочной породы) и портланд-цемента затворенного водой.

При отвердении масса эта образует агломерат из смеси песка с гравием (щебня) и цементного теста, отвердевшего в цементный камень.

Цементное тесто, отвердевающее в камень, является вяжущей основой бетона, а песок в смеси с камневидной (гравий или щебень) образует отощатель.

Удовлетворение требований предъявляемых к бетону в сооружении в значительной степени зависит от прочности его и плотности. Что же касается требований, предъявляемых к бетонной массе (замесу), то в основном они сводятся к достаточной податливости, обеспечивающей надежную укладку при выбранных методах работы и заданных размерах конструкции. Если податливость бетона не удовлетворительная, то в результате дефектов укладки, в кладке образуются пустоты и поры, непосредственно понижающие устойчивость и прочность бетона.

Мы видим, что требования податливости и прочности неотделимы, так как недостаток податливости отзывается на прочности бетона. Нельзя упускать из виду, что бетон проходит через первоначальную стадию — замес и требова ния

предъявляемые к замесу естественно отражаются на самом бетоне.

Начнем изучение вопроса с наиболее простого требования, именно — прочности бетона.

Прочность бетона Как известно, прочность бетона меняется с возрастом и зависит в большой степени от ухода за свежей кладкой, от температуры среды, влажности и т. д.

По учете всех этих факторов требуемая прочность задается обычно в виде кубиковой прочности образца размером $20 \times 20 \times 20$, см., изготовленного из массы рабочей консистенции (податливости) в определенном возрасте при определенном способе хранения.

Задаваемая кубиковая прочность зависит от расчетной прочности в сооружении, класса сооружения, времени раскружаливания, начала эксплуатации, возможности полива или хранения под водой и т. д.

В конечном счете проектировщик бетона получает задание в виде марки бетона, т. е. прочности бетона в возрасте 28 дней и указания о способе хранения — смешанное, воздушное или под водой.

Кубиковая прочность бетона определяется, как частное от деления разрушающей силы на рабочее сечение (например — 20×20 см.). Опираясь этим частным мы не забываем, конечно, что в действительности напряжения не распределяются равномерно по всему рабочему сечению кубика. Процесс разрушения происходит много сложнее. Бетонный кубик является агломератом отощателя, характеризуемого большой прочностью и высоким модулем упругости с цементным камнем сравнительно слабым и с малым модулем упругости. При распределении усилий между этими составными частями на долю цементного камня приходится тем меньшая часть, чем прочнее отощатель и чем сложнее структура самого бетона. Цементный камень, являясь более слабым ингредиентом бетона, меньше нагружается, но причиной разрушения бетона все же является цементный камень.

Сопrotивляемость бетонного кубика тем больше превышает прочность образующего этот кубик цементного камня, чем прочнее отощатель и чем сложнее структура бетона.

Нужно отметить, что это явление наблюдается не только в цементных бетонах, но и в бетонах, изготовленных на битуме. Битумный бетон, изготовленный на дробленном песке и щебне, прочнее чем бетон, изготовленный на том же битуме, но на речном песке и гравии.

Итак, при проектировании состава классического бетона мы можем исходить из положения, что прочность бетона определяется сопротивляемостью цементного камня, образующего бетон и что прочность бетона тем более превышает сопротивляемость цементного камня, чем прочнее отощатель и чем сложнее структура бетона.

Это положение справедливо до тех пор, пока бетон плотен, т. к. в случае образования каверн или пустот, картина работы бетона меняется и приобретает до известной степени случайный характер.¹⁾

Так как требования прочности, предъявленные к бетону мы переносим на цементный камень, то нам следует заняться изучением прочности цементного камня.

Прочность цементного камня.

Цементный камень это продукт схватывания и твердения цементного теста.

Цементное тесто в момент затворения цемента является смесью воды и цемента. Не вдаваясь в рассмотрение весьма сложного явления схватывания и твердения, мы можем ограничиться изучением интересующего нас качества — прочности, в зависимости от отношения веса цемента к весу воды в тесте в момент затворения его. Это отношение, которое явится аргументом искомых кривых зависимостей, мы назовем цементно-водным фактором.

¹⁾ Весьма любопытные результаты дает сравнение с пенобетоном, где отощателем служат воздушные пузырьки; промежуточным звеном является пемзобетон с воздушными пузырьками отощателя, заключенными в оболочку пемзы.

Если мы изготовим кубики из цементного теста и подвергнем их смешанному хранению¹⁾, то обнаружим следующее интересное явление. Кубики, приготовленные из жидкого теста, в процессе хранения в первый период (в воде) приобретают в весе, во второй период (в воздухе) теряют, но в конечном результате вес их становится меньше, чем в момент затворения. Обратно, если тесто очень плотное (много цемента и мало воды), то в результате жадного поглощения воды при хранении в таковой и некоторой потери во время хранения на воздухе—вес образцов становится больше, чем в момент затворения.

В первом случае происходит увеличение цементно-водного фактора, т. к. при неизменном весе цемента, происходит уменьшение в весе воды, а во втором случае имеет место обратное явление—увеличение веса воды, т. е. уменьшение цементно-водного фактора.

В кубике из плотного цементного теста быстро устанавливается постоянный ц.-в. фактор. Если мы изготовим кубик из теста с цементно-водным фактором, равным этому постоянному значению, то мы увидим, что в кубике произойдут лишь незначительные колебания в весе во время смешанного хранения. При испытании на прочность этот кубик даст наилучшие результаты. То отношение веса цемента к весу воды в момент затворения теста, при котором достигается максимальная прочность цементного камня, мы назовем оптимальным цементно-водным фактором.

Из описанного нами явления изменения веса цементных кубиков явствует, что в цементном камне происходит изменение ц.-в. фактора в сторону приближения к оптимальному значению, его. Но т. к. изменения эти имеют место после начала схватывания, то образцы не достигают той прочности, которую они получают в случае изготовления на тесте с оптимальным цементно-водным фактором. Если цементно-водный фактор больше оптимального, то воды не хватает на гидратацию всего цемента и реакция затрудняется. Если же цементно-водный фактор менее оптимального, то имеет

¹⁾ Один день—в форме во влажном воздухе, 6 дней—в воде, а дальнейшем—на воздухе.

место излишек воды, который замыкается в цементном камне, не вступив в реакцию. В дальнейшем, во время хранения на воздухе, вода эта выделяется (чем и объясняется потеря в весе кубика против первоначального во время изготовления), и в цементном камне образуются поры, понижающие его прочность.

Выявление оптимального цементно-водного фактора и соответствующей ему максимальной прочности цементного камня имеет большое значение, т. к. указывает на то минимальное количество воды, которое требуется добавить к данному цементу, чтобы получить максимальную прочность, на которую можно рассчитывать, употребляя данный цемент.

Условия изготовления бетона требуют применения такой пропорции цемента и воды, которая дает цементное тесто с цементно-водным фактором значительно меньшим оптимального, так как изделия, приготовляемые из цементного теста при оптимальном цементно-водном факторе, требуют прессования (тометовые плитки, черепица и проч.). Необходимо выявить зависимость прочности цементного камня от цементно-водного фактора с тем, чтобы в дальнейшем при назначении составов иметь ясное представление о той прочности цементного камня, которая соответствует заданной пропорции цемента и воды.

Выявление зависимости прочности цементного камня от цементно-водного фактора не представляет затруднений. Все дело сводится к изготовлению образцов из теста с различным цементно-водным фактором и испытанию таковых. Откладывая значение цементно-водного фактора на оси абсцисс, а результаты испытаний — по оси ординат, получаем кривую зависимости прочности цементного камня от цементно-водного фактора. В дальнейшем мы эту кривую называем кривую прочности¹⁾.

¹⁾ Наличие кульминации в кривой прочности можно доказать чисто спекулятивным путем.

При цементно-водном факторе $= 0$ (чистая вода) прочность равна нулю, при цементно-водном факторе безконечности (сухой цемент) прочность вновь равна нулю, следовательно, при некотором цементно-водно факторе кривая имеет кульминацию, поскольку функция заведомо непрерывна.

Кривая прочности цементного камня

При построении кривой прочности мы идем от оптимального цементно-водного фактора в сторону понижения его. Нанося результаты испытаний, мы обнаружим, что в пределах от оптимального цементно-водного фактора до значения цементно-водного фактора, приблизительно соответствующего „нормальному количеству воды“, результаты получаются достаточно однородные, и изменение прочности идет довольно закономерно. При дальнейшем понижении цементно-водного фактора закономерность утрачивается, и в образцах обнаруживаются поры. То значение цементно-водного фактора, которому соответствует начало нарушения закономерности и устойчивости результатов испытаний и появление пор в цементном камне, мы назовем критическим цементно-водным фактором.

Прямая прочность цементного камня

Кривая прочности для (портланд-цемента в пределах от критического до оптимального цементно-водного факторов близка к прямой. Поэтому мы можем с достаточной для практики точностью принять ее за прямую. При нанесении этой прямой необходимо позаботиться только о том, чтобы ни в одной точке она не проходила выше кривой, соединяющей средние значения результатов испытания.

При изготовлении бетона мы обычно пользуемся тестом более жидким, чем соответствующее критическому цементно-водному фактору. Поэтому

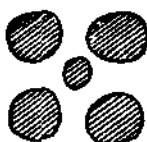
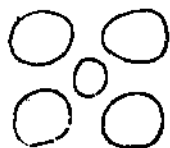


Рис. № 1. Схема заполнения пустот пылевидной добавкой в уплотненном цементном камне

нам надлежит обратить особое внимание на участок кривой прочности, лежащей влево от этой точки.

Еще Фере¹⁾ отметил, что уплотнение теста инертными добавками влечет за собой повышение его прочности.

Явление это объясняется весьма просто, при рассмотрении работы стенок пористого цементного камня и камня уплотненного добавкой (см. рис. № 1)

¹⁾ На работах Фере мы остановимся далее подробнее.

В случае заполнения пустот, давление передается через заполняющую среду и сами стенки находятся в лучших условиях, что и дает повышение прочности камня¹⁾.

Остается только выяснить, какова должна быть тонина уплотняющей добавки. Естественно принять тонину добавки равной тонине помола цемента.

Это предложение Гайе признано Вайзе, Суэнсоном и другими авторитетами. Работы ЗИС'а подтвердили целесообразность этого предположения.

Мы приняли тонину добавки равной предельной тонине помола цемента, т. е. не более 0,2 мм. (проход через сито 900 отверстий на кв см.).

Если в цементное тесто, имеющее пониженный против критического, цементно-водный фактор, добавить уплотнитель, то получится плотный цементный камень, и вновь установится утраченная однородность и закономерность результатов испытаний. При таких условиях полученный нами линейный закон прочности мы можем экстраполировать в сторону уменьшения цементно-водного фактора.

Опыты ЗИС'а
в 1929 г.

В лаборатории ЗИС'а в 1929 году была проделана работа по определению прочности Новороссийского портланд-цемента марки „О“ на сжатие и растяжение.

В графиках №№ 2, 3, 4 и 5 приведены кривые прочности на сжатие в возрасте 7, 28 и 42 дней, а на графике № 6 на растяжение в возрасте 7 дней. Все образцы подвергались смешанному хранению: 1 сутки — в форме во влажном воздухе, 6 суток — в воде, а в дальнейшем — на воздухе.

Сплошной линией показаны результаты испытаний чистого цементного камня, а пунктиром показана экстраполяция в сторону уменьшения цементно-водного фактора, проверенная на образцах, уплотненных инертной добавкой.

Перейдем к описанию работы с чистым цементным тестом. При выполнении задания выяснилась необходимость определения оптимальной работы трамбования. Оптимальная

¹⁾ Детальнее вопрос освещен в приложении № 2.

работа трамбования растёт с цементно-водным фактором и соответствует моменту появления отказа.

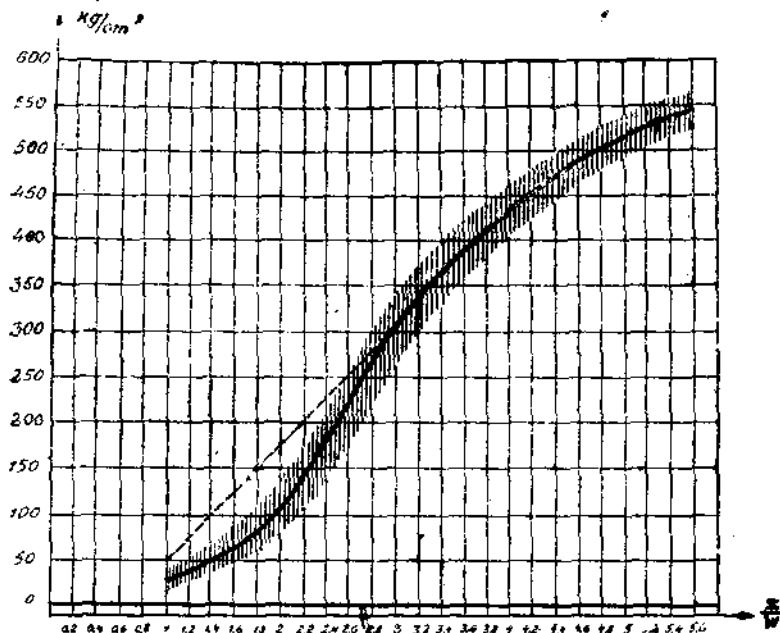


Рис. № 2. Кривая прочности на сжатие цементного камня в возрасте 7 дней. Хранение: 1 день в форме во влажном воздухе, 6 дней в воде. Работа трамбования оптимальная. Цемент Новороссийских заводов. Опыты ЗИС'а 1929 года.

Подпрыгивание копра показывает, что масса достаточно уплотнена и начинает пружинить. В случае продолжения трамбования, в образцах появляются удлиненные поры, резко понижающие прочность. Появление пор объясняется следующим образом: уплотненная масса упруго деформируется при ударе копра, но деформирование затрудняется трением образца по стенкам формы, что влечет за собой разрывы в плоскостях, нормальных к направлению трамбования. Эти разрывы и образуют при отвердевании образца поры удлиненной формы. Прочность образцов излишне трамбованных падает. Недостаток трамбования тоже понижает прочность образцов. Мы остановились на следующем методе: образец

с данным цементно-водным фактором трамбуется до появления отказа и определяется число ударов к моменту отказа. Число это уменьшается на 2—3 или округляется до кратного

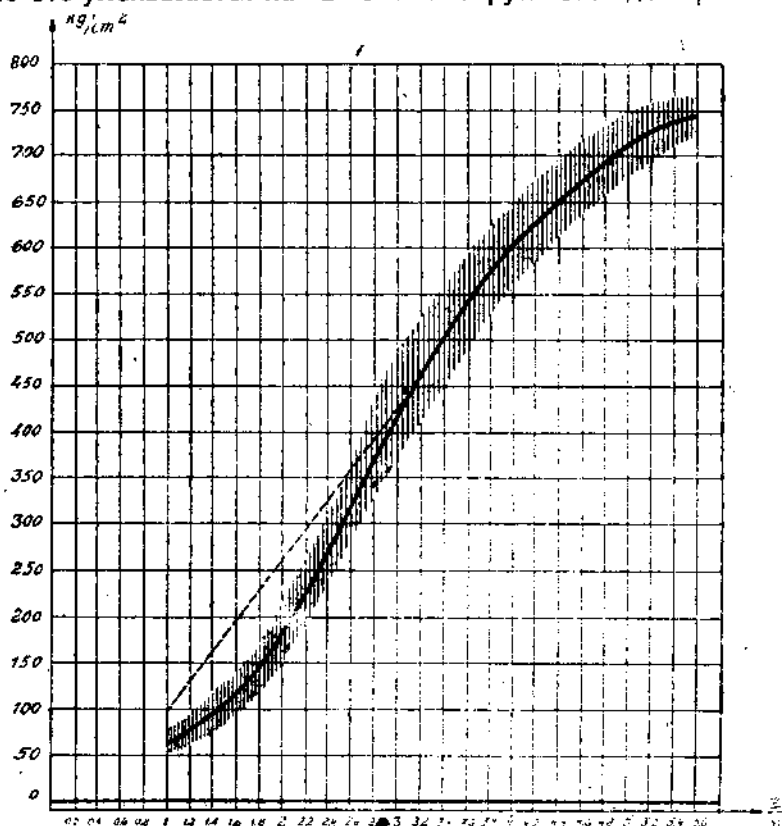


Рис. № 3. Кривая прочности на сжатие цементного камня в возрасте 28 дней. Хранение смешанное: 1 день в форме во влажном воздухе, 6 дней в воде, а в дальнейшем — на воздухе. Работа трамбования оптимальная. Цемент Новороссийских заводов. Опыты ЗИС'а 1929 года.

пяти, и все дальнейшие образцы с этим цементно-водным фактором трамбуются при найденном оптимальном числе ударов.

Нужно обратить внимание на необычайно высокие результаты, достигнутые нами при оптимальном цементно-водном факторе и оптимальной работе трамбования¹⁾.

¹⁾ Если учесть, что германские нормы трамбования выше ОСТ, то превосходство германских цемента может быть подвергнуто сомнению.

Помимо основной линии, штриховкой нанесены пределы колебаний результатов испытаний.

На графике № 5 совмещены кривые прочности в возрасте 4, 28 и 42 дней.

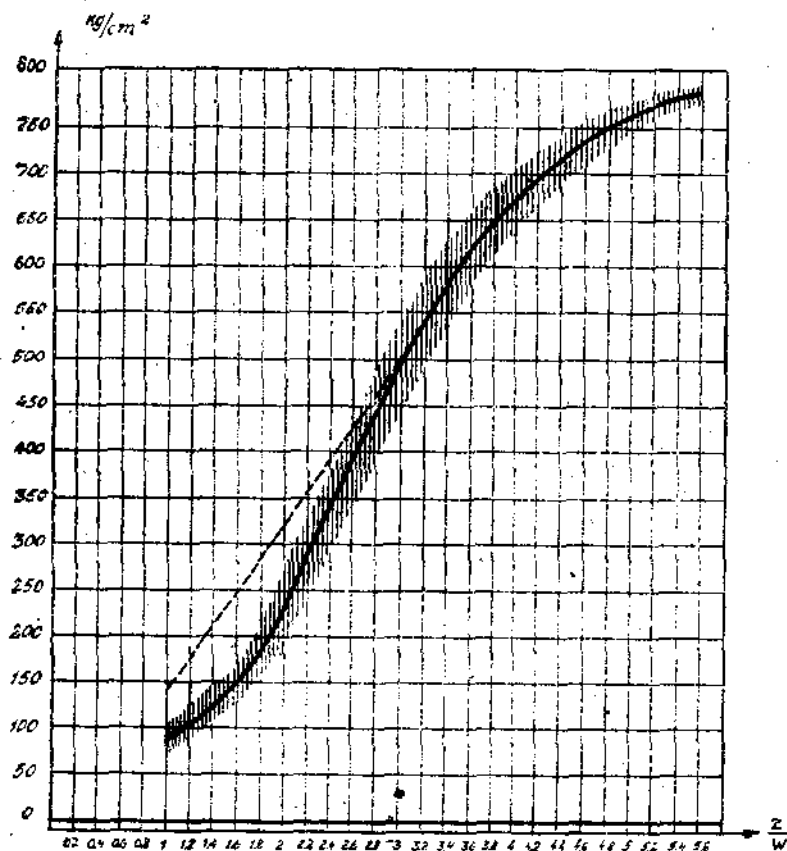


Рис. 4. Кривая прочности на сжатие цементного камня в возрасте 48 дней. Хранение смешанное: 1 день, в форме во влажном воздухе, 6 дней в воде, а в дальнейшем на воздухе. Работа трамбования оптимальная. Цемент Новороссийских заводов. Опыты ЗИС'а 1929 года.

Наложение кривых дает возможность определения роста прочности образцов в зависимости от возраста и цементно-водного фактора.

Нужно отметить, что рост прочности, выраженный в процентах от основной прочности (в возрасте 7-ми дней), увеличивается с падением цементно-водного фактора.

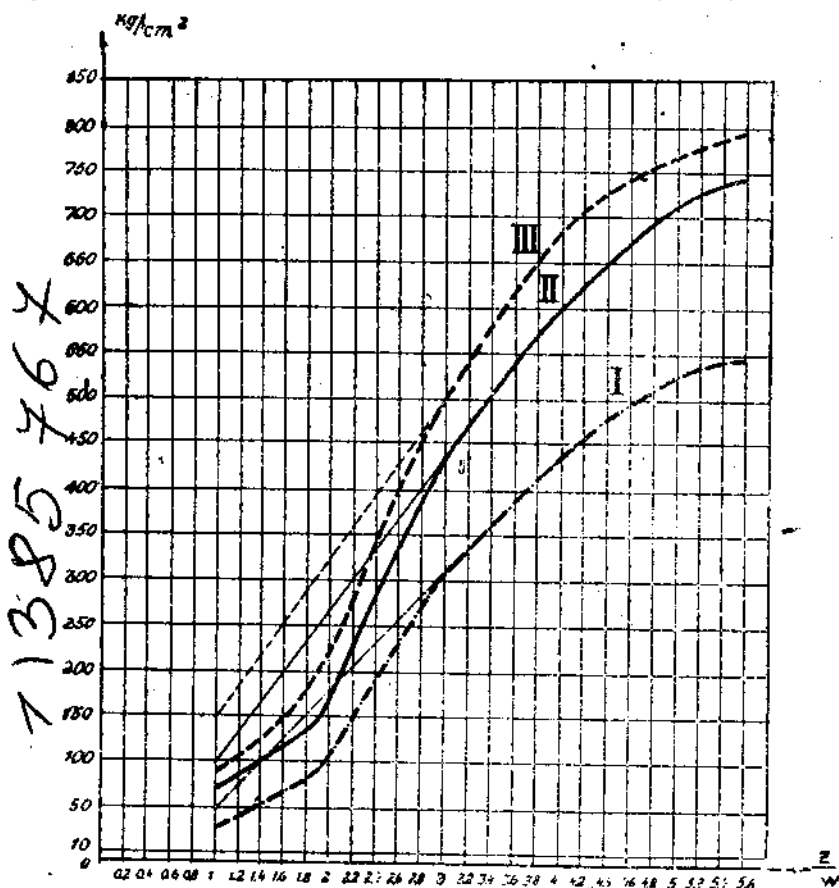


Рис. № 5. Совмещенные кривые прочности на сжатие цементного камня в возрасте 7, 28 и 42 дня.

I—Кривая прочности в возрасте, 7 дней см. рис. № 2

II— " " " " 28 " " " № 3

III— " " " " 42 " " " № 4

Что касается характера всех трех кривых, то он однороден: во всех трех кривых имеется точка критического цемента. Ю. Я. Штаерман.

ментно-водного фактора (место перехода пунктирной прямой в основную кривую) и оптимальный цементно-водный фактор

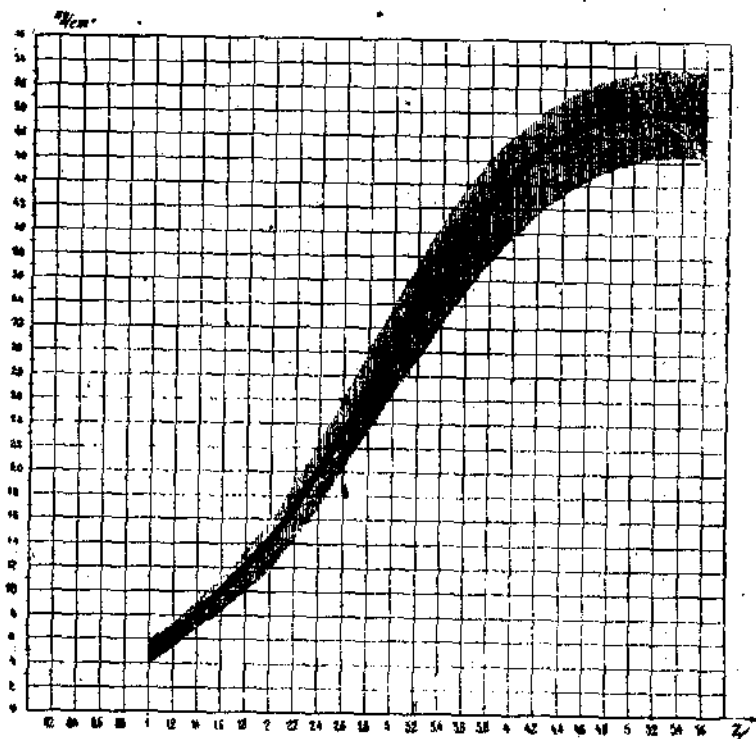


Рис. № 6. Кривая прочности на растяжение цементного камня в возрасте 7 дней. Хранение: 1 день в форме во влажном воздухе, 6 дней в воде. Цемент Новороссийских заводов. Опыты ЗИС'а 1929 года.

Положение оптимального цементно-водного фактора неясно выражено, так как за этой точкой следует более или менее горизонтальный участок. Выявление кривой за пределами оптимального цементно-водного фактора сопряжено с большими техническими трудностями.

Нами проделано испытание отдельных образцов с заведомо большими цементно-водными факторами; образцы дали резко пониженную прочность. Помимо этого, обследована работа мастерских тометовых изделий. Обследование показало, что опытные мастера работают с цементно-водным фактором, близким к оптимальному.

На графике 6 показана кривая прочности на растяжение цементного камня в возрасте 7 дней. Образцы изготовлялись в стандартных восьмерках и подвергались смешанному хранению. Испытывались образцы на приборе Фрилинг-Михаэлиса мощностью в 75 кг/см². Пришлось ограничиться кривой в возрасте 7-ми дней, так как прочность образцов в возрасте 28 дней превышала мощность прибора.

Характер кривой прочности на растяжение остался тот же, что и кривой кубиковой прочности.

Прежде чем перейти к дальнейшему, дадим краткое изложение работ Абрамса и Графа и отметим работы Академии Инженерных Наук в Стокгольме.

Опытами Абрамса и Графа установлено, что прочность бетона предопределяется прочностью раствора. Под раствором понимается смесь из цементного теста и песка, проходящего через круглые отверстия $d=7$ мм.

Формулы Графа и Абрамса. Граф установил следующую зависимость прочности раствора от водо-цементного фактора (величина обратная цементно-водному фактору):

$$K = \frac{K_n}{8w^2}$$

где K — прочность бетона или раствора.

K_n — прочность цементного камня при „нормальном количестве воды“,

w — водо-цементный фактор — отношение веса воды к весу цемента в цементном тесте.

Абрамс дал формулу:

$$K = \frac{A}{B^x}$$

где K — прочность бетона или раствора.

A и B — постоянные, зависящие от качества цемента, возраста бетона, способа приготовления и пр.

x — отношение объема воды к объему цемента.

По Графу получается следующая цепь зависимостей: прочность бетона не выше прочности раствора, а прочность раствора зависит от водо-цементного фактора и проч-

ности цементного камня при нормальном количестве воды. Естественно исключить промежуточное звено — раствор, и остановиться на более простой зависимости: прочность бетона предопределяется прочностью цементного камня, которая в свою очередь находится в линейной зависимости от цементно-водного фактора.

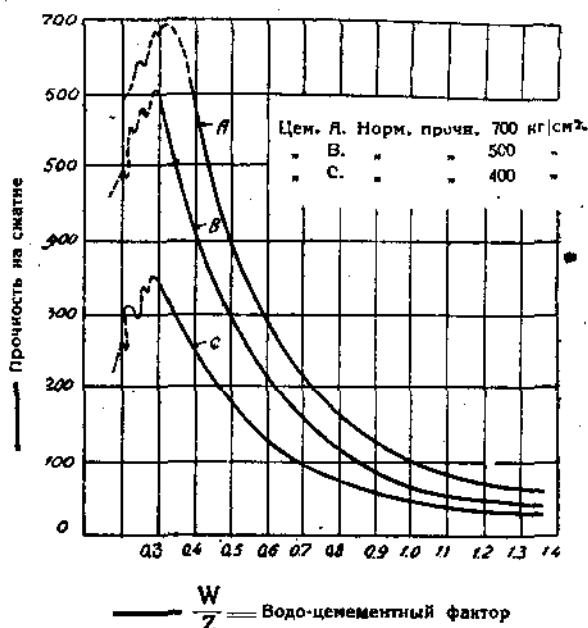


Рис. № 7. Кривые зависимости прочности раствора от водо-цементного фактора. (по Графи).

Преимущества последней схемы по сравнению со способом Графа следующие:

Граф оперирует прочностью цементного камня при „нормальном количестве“ воды и не выявляет максимальной его прочности. Так как „нормальное количество воды“ — величина условная, то и прочность цементного камня, при нормальном количестве воды, для одного и того же цемента может быть получена разная. Максимальная же прочность цементного камня — понятие вполне определенное, т. к. оптимальный цементно-водный фактор имеет вполне определенное физико-химическое значение.

По Графу приходится определять кривую прочности раствора, которая в известной степени зависит от песка. В предлагаемом же методе приходится оперировать одним только цементом и лишь для уплотнения — употреблять пудру (кварцевую), влияние которой много менее индивидуально, чем влияние песка. Кроме того, по уплотненным образцам мы только проверяем возможность экстерполирования закона, найденного при испытаниях образцов из чистого цементного теста.

О способе же Абрамса, уступающем методу Графа, мы скажем детальнее.

Шведские исследования.

Работа Академии Инженерных Наук в Стокгольме описана инженерами Вернер и Гирц-Гедстром в журнале „Цемент“ № 46 и 47 за 1931 год в статье „Зависимость важных технических свойств бетона от физико-химических свойств цемента.“¹⁾

Ввиду огромного интереса, представляемого статьей и трудности получения иностранной литературы, в приложении дан перевод статьи.

Статья снабжена комментариями, освещающими и углубляющими нашу точку зрения. Здесь же мы ограничиваемся указанием, что и шведские исследования приводят к прямой зависимости кубиковой прочности от цементно-водного фактора.²⁾

Податливость бетонной массы.

Осветив вопрос о прочности цементного камня, как функции цементно-водного фактора, мы можем перейти к выяснению зависимости консистенции бетонной массы от качества цементного теста.

Ранее мы указывали, что требования податливости³⁾ бетонной массы и прочности бетона неотделимы, хотя бы из того соображения, что бетон образуется из бетонной массы.

¹⁾ Zement № 46 и 47 1931 г. Die Abhängigkeit der technisch wichtigen Eigenschaften des Betons von den physikalisch-chemischen Eigenschaften des Zements Von Dipl.-Ing. Donovan Werner und Stig Gieritz-Hedstrom

²⁾ См. приложения к приложению № 2.

³⁾ Проф. В. Э. Новодворский предложил термин „податливость“ достаточно хорошо передающий английское слово workability.

Податливость бетона чрезвычайно важный фактор, влияющий на судьбу бетона и требует вдумчивого отношения.

Обычно существует тенденция увеличивать подвижность бетонной массы, когда консистенция задается на „глазок“. Необходимо перейти от субъективного суждения о консистенции бетонной массы к измерению ее.

Конус Абрамса.

Для определения податливости бетона служат следующие методы и приборы: конус Абрамса, площадка для встряхивания, столик для встряхивания, весы для определения консистенции, наклонный желоб и столик Скрамтаева.

Для определения консистенции пластичного бетона применяется форма (см. чертеж № 8) из листового железа (толщиной не меньше 1 мм.) в виде усеченного бездон-

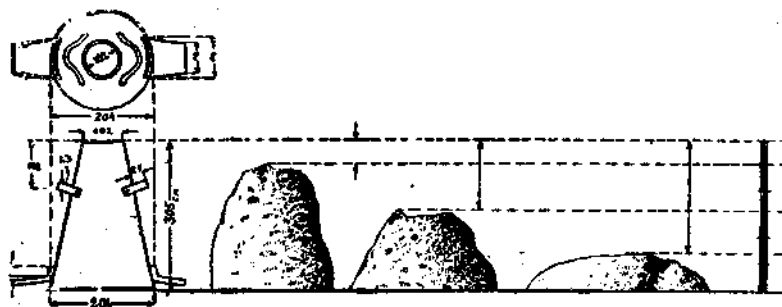


Рис. № 8 Конус Абрамса и схема измерения сплива.

ного конуса, с двумя ручками по бокам, высотой 30 см. при диаметре нижнего основания 20 см. и верхнего—10 см. Внутренняя поверхность должна быть совершенно гладкой, без загиба внутренних фасок у основания и по шву. Форма заполняется бетоном тотчас же по затворении последнего слоями толщиной по 10 см., при чем каждый слой протыкается 25 раз железным стержнем диаметром 15 мм. с округло заостренным концом: полная длина стержня—75 см. При наполнении конуса последний должен быть поставлен большим основанием вниз, и во избежании поднятия при штыковании плотно прижат к гори-

зонтальному квадратному железному листу размером около $50 \times 50 \times 0,5$ см. Немедленно после окончания трамбования последнего слоя бетона, верхняя поверхность его выравнивается, со срезкой излишнего бетона, и форма осторожно снимается. Поднятие ее обязательно производится вертикально вверх без перекосов и толчков. Через 1 минуту после снятия формы, измеряется уменьшение высоты конуса, которое и называется „осадкой конуса“. Измерение осадки конуса и ведется с точностью до 1 см. и должно производиться не менее трех раз. В качестве окончательной цифры принимается среднее из трех показаний. Лист и конус после каждого опыта должны быть тщательно очищены от прилипших частиц бетона.

По Пробсту жесткие бетоны не дают сплыва (сплыв равен нулю). Бетон, средний по консистенции между жестким и пластичным, которую пр. Пробст сравнивает с сырой землей (erdfeucht), дает сплыв до 5 см.; пластичному бетону соответствует сплыв 5—7 см. и, наконец, литой бетон дает сплыв 15-18 см. Профессором Беляевым приняты градации, близкие к американским: сплыв 1—2 см., 7—10 см. и 15—18 см.

Определение консистенции по сплыву не дает точных результатов. Кроме того, величина сплыва зависит в большей степени от сноровки и опытности лица, приготавливающего бетон и оперирующего конусом, что понижает объективность способа. Это обстоятельство привело к измерению консистенции посредством „растекания конуса“, дополнительно к сплыву.

Столик Графа

Площадка для встряхивания. Для определения величины растекания конус изготавливается на крышке специального ящика. Крышка приделана к ящику двумя петлями. С другой стороны к основанию ящика приделана скоба, дающая возможность поднять крышку на 4 см. (см. рис. № 9 и 10).

По определении сплыва конуса, крышка со стоящим на ней оплывшим конусом приподнимается и захлопывается десять раз подряд. От десяти ударов конус растекается

в кучу. Чем жиже бетон, тем больше растекается конус. Отношение наибольшего размера кучи в плане к первоначальной величине диаметра основания конуса (20 см.) характеризует консистенцию бетона.



Рис. № 9. Работа с конусом Абрамса установленным на площадке для встряхивания.

Площадка для встряхивания обладает существенным недостатком. При подъеме крышки конус принимает наклонное положение, верхушка его скалывается и падает вниз. Конус рассыпается, а не растекается.

Столик Бетко Столик для встряхивания. Для устранения перекоса и скалывания конуса применяется столик для встряхивания. Устройство столика для встряхива-

ния и работа на нем видны из рисунков № 11 и 12. Для испытания на столике изготавливаются специальные образцы в виде низких и устойчивых усеченных конусов. Высота конуса вдвое менее высоты конуса Абрамса—15 см. Диаметры основания и верха конуса соответственно больше, чем у Абрамса, и равны 30 см. и 20 см. Образец подвергается 15 встряхиваниям в течении 10 секунд. При повороте ручки площадка поднимается на 1,5 см., оставаясь горизонтальной, что уменьшает возможность

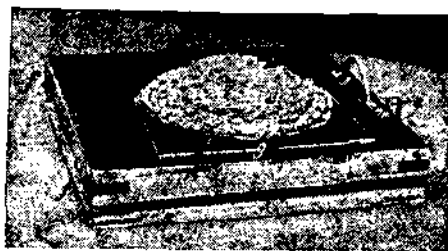


Рис. № 10. Измерение растекания на площадке для встряхивания

скалывания. При повороте ручки площадка поднимается на 1,5 см., оставаясь горизонтальной, что уменьшает возможность

скалывания конуса. По окончании встряхивания, определяется наибольшее протяжение кучи в плане. Это протяжение, выраженное в процентах от первоначального диаметра основания (30 см.) и служит измерением консистенции бетонной массы.

Описанные нами способы определения консистенции бетонной массы мало пригодны для измерения консистенции жестких и литых бетонов, т. к. жесткие бетоны не сплывают и при встряхивании рассыпаются,

а не растекаются. Для литых же бетонов при таком способе не получается характерных результатов.

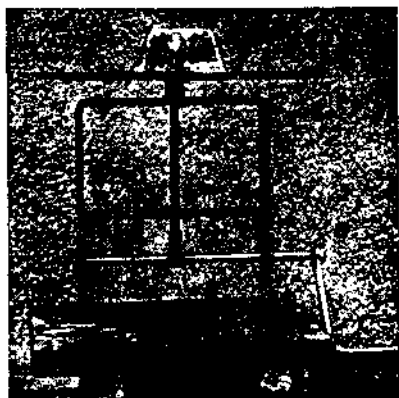


Рис. № 11. Столик для встряхивания

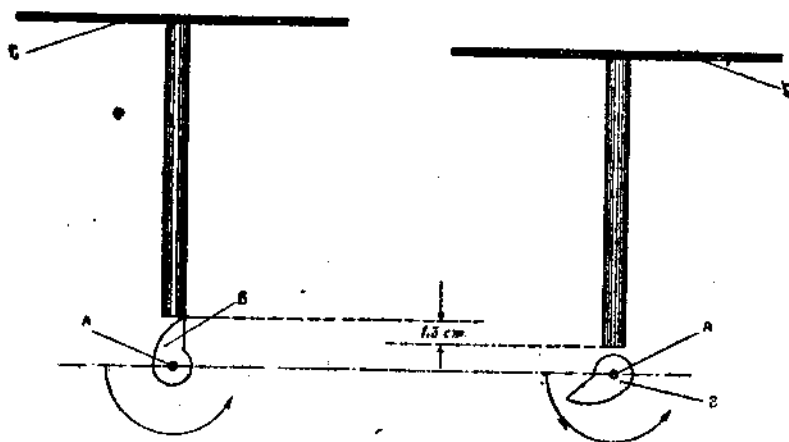


Рис. № 12. Схема работы столика для встряхивания.

Весы. Для определения консистенции жесткого бетона служат весы, построенные по принципу пурки Исаева. Как видно из чертежа № 13, весы (пружинные) заканчиваются круглой площадкой диаметром 30 см. На вы-

соте 30 см. от площадки находится воронка, в которую загружают 20 кгр. бетонной массы. При открытии задвижки закрывающей устье воронки, бетонная масса падает на площадку.

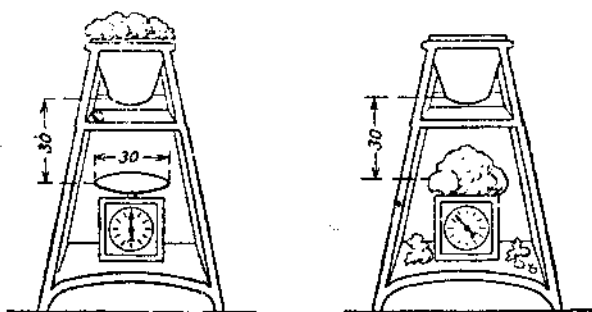


Рис. № 13. Весы для измерения консистенции жестких бетонов



Рис. 14 Наклонный желоб для измерения консистенции

весов. Здесь она высыпается и частично спадает с площадки. Чем бетон жестче, тем большая часть его остается на площадке. Вес оставшейся на площадке бетонной массы определяется по весам, которые приводятся в действие специальным рычажком.

Наклонный желоб

Консистенция литых бетонов определяется посредством наклонных желобов¹ (см. рис. № 14).

Желоб из гальванизированного же-

¹ См. „Beton und Eisen“, № 5 за 1929 год

леза диаметром 15 см. и длиной 243 см. укладывается в деревянный лоток. Лоток заделан одним концом шарнирно в козлы, а другим подвешен к троссу, который пропущен через блок, приделанный к верху козел. В горизонтальном положении лотка желоб заполняется бетонной массой. Противовес, подвешенный к троссу поднимает один конец лотка, пока он не упрется в поперечину, устанавливаемую на желаемой высоте по козлам.

Удар о поперечину приводит бетонную массу в движение и она стекает по желобу в ведро. По истечении двадцати секунд, лоток возвращают в первоначальное горизонтальное положение и взвешивают массу, стекшую в ведро. По весу стекшей массы и углу наклона ¹⁾ можно судить о консистенции бетона. Кроме того, можно наблюдать за тем, течет ли масса однородным потоком или расслаиваясь. По окончании испытания, желоб моется начисто, и он готов к дальнейшему употреблению.

Столик Скрамтаева. Изменение пластичности посредством угла наклона, при котором начинается перемещение бетонной массы, положено в основу столика Скрамтаева (см. рис. 15).

Профессор Скрамтаев в труде своем „Бетон“ следующим образом описывает свой прибор и способ работы на нем:

„Прибор (столик Скрамтаева) чрезвычайно прост и состоит из двух деревянных щитов размером 50 X 40 см., скрепленных дверной петлей. Верхний щит обит кровель-

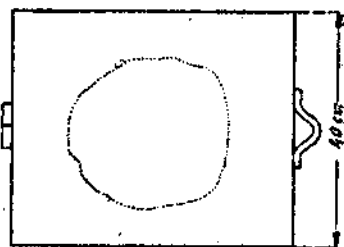
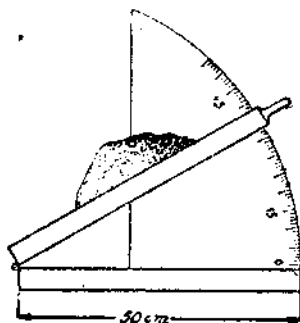


Рис. 15. Столик Скрамтаева для измерения консистенции.

¹⁾ Угол наклона зависит от высоты, на которую установлена поперечина.

ным железом. К верхнему щиту прикреплена ручка, а к нижнему — дуга из фанеры, расчерченная на градусы. Прибор может быть легко изготовлен на любой постройке.

Метод определения консистенции с помощью этого прибора следующий: проба бетона в 3 л. кладется на верхний щит который предварительно вытирают насухо, разравнивается, в виде лепешки диаметром около 30 см. Затем поднимают, за ручку верхний щит медленно и без толчков. При некотором угле наклона бетон начинает двигаться. Этот угол наклона (при начале движения всей массы бетона) и считается с мерой консистенции.

Испытание прибора было произведено в Лаборатории и имело целью установить: 1) связь угла наклона столика с консистенцией; 2) точность прибора, 3) влияние на показания столика различных составов и материалов. Все данные испытаний сведены в следующей таблице:

Водоцементный фактор.	Состав 1:2:4		Состав 1:2½:5	
	Песок*) с М = 1,80	Песок*) с М = 2,50	Песок с М = 1,80	Песок с М = 2,50
Углы наклона столика в градусах				
0,50	36	30	33	34
0,55	33	28	35	30
0,60	30	24	32	27
0,65	25	20	28	22
0,70	17	16	23	19
0,75	16	15	19	17
0,80	15	15	17	16
0,95	15	—	15	16

(Цемент и щебень во всех опытах применялись одинаковые).

Таблица показывает:

1) С увеличением количества воды (и следовательно, с увеличением пластичности) углы наклона столика уменьшаются.

2) Увеличение водо - цементного фактора на 7—10% заметно уменьшает угол наклона столика (за исключением слу

*) М — модуль грануляции — см. стр. 33.

чаев с большим водо-цементными факторами, о чем сказано ниже); такая точность не уступает конусу Абрамса;

3) Применение более тощего состава (при прочих равных условиях) влечет за собой увеличение угла наклона столика, применение более крупного песка—уменьшение угла наклона столика; соответствующие изменения консистенции наблюдаются и при опытах с конусом Абрамса.

Испытание показало допустимость применения нашего метода, а его простота, получение непосредственно отсчета и указания о текучести бетона и пр., позволяют считать возможным применение метода на практике.

Особенно наглядно видны преимущества нового метода измерения консистенции перед методом конуса Абрамса при испытании бетона, изготовленного из материалов плохого гранулометрического состава. Так, при мелком песке и однородном щебне конус Абрамса с увеличением количества воды в бетоне долгое время не показывает осадки, а затем сразу распадается. Наоборот, столик дает все время закономерно меняющиеся показания. Данные этих опытов приводятся в следующей табличке:

Водоцементный фактор	Осадка конуса в сантиметрах	Угол наклона столика в град.
0,50	0	40
0,60	0	37
0,70	0	33
0,80	0	29
0,90	15—21	23
0,100	22	17

Для перехода от нового метода к обычному методу Абрамса приводится следующая табличка, полученная из опытов: Угол наклона столика, в градусах. 36, 33, 30, 25, 17, 16, 15, Осадка конуса Абрамса, в сант. 0,5, 2,5, 4,5, 7,5, 20 (не дает показаний.),

Мы подробно изложили разные способы измерения консистенции бетонной массы, т. к. считаем чрезвычайно

важной выработку единообразного метода измерения и нормирования консистенции, подобно тому, как нормируется прочность самого бетона¹⁾.

Что же обуславливает консистенцию бетонной массы-ее податливость?

Смазочная способность цементного теста.

Бетонная масса, лишенная цементного теста, т. е. сухой отошатель теряет свою подвижность.

Следовательно, подвижность массе сообщает цементное тесто. Цементное тесто смазывает поверхность отошателя, обволакивает его частицы и образует прослойки между зернами. Цементное тесто является смазкой, придающей податливость бетонной массе. Смазочная способность цементного теста очевидно является функцией цементно-водного фактора. При цементно-водном факторе $= 0$, т. е. в случае чистой воды смазочная способность равна нулю, так как смоченный отошатель не на много податливее сухого.

При цементно-водном факторе $= 1$, т. е. в случае сухого цемента опять таки смазочная способность равна нулю. Мы приходим к выводу, что кривая смазочной способности имеет некую кульминацию.

Если бы можно было непосредственно мерить смазочную способность теста, подобно тому, как мерится эта способность машинных масел, то не представляло бы труда построить кривую зависимости смазки от цементно водного фактора, но такого аппарата в настоящее время не имеется.

Консистенция теста не имеет прямой связи со смазочной способностью, хотя и существует подобное ошибочное мнение. Не трудно представить сахарный сироп и машинное масло одной консистенции, но ошибочно заключить, что сироп и масло обладают равной смазочной способностью.

Поскольку не существует возможности прямого измерения смазочной способности, определять ее можно обходным путем.

¹⁾ Новейших методов Американского и Германского мы не излагаем, так как они нами еще не испытаны.

Опыт Рурского союза.

Такая работа проделана Рурским союзом. На чертеже № 16 приведены результаты этого исследования.

На оси абсцисс отложены значения водо-цементного фактора (отношение веса воды к весу цемента).

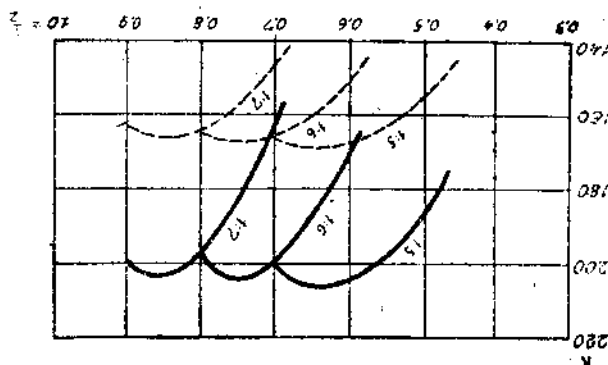


Рис. 16. Опыты Рурского союза по определению зависимости консистенции бетонной массы от водо-цементного фактора при определенном составе бетона и заданном отощателе

На оси ординат нанесены коэффициенты измеряющие консистенцию бетона. Кривые показывают результаты испытаний для одних и тех же составов (1:5, 1:6, 1:7), при чем сплошные кривые соответствуют смеси песка и гравия, а пунктиром нанесены смеси с добавлением щебенки.

Важно отметить, что кривые имеют ясно выраженные кульминационные точки (в особенности сплошные кривые), а именно составу.

1:5	соответствует кульминационная точка с водо-цементным фактором	0,65
1:6	" " " " " "	0,75
1:7	" " " " " "	0,85

Консистенция бетонной массы зависит от свойств отощателя, состава бетона и смазочной способности цементного теста. Кривые консистенции построены для бетонов постоянного состава (1:5, 1:6, 1:7) и однородного отощателя; следовательно, эти кривые построены в зависимости от одной

переменной: — смазочной способности цементного теста — и не могут быть использованы в общем случае, т. е. для иного отощателя и цемента. Результаты испытаний Рурского союза служат доказательством того, что смазочная способность цементного теста является функцией от водо-цементного фактора (или цементно-водного) и кривая имеет максимум. По достижении максимума смазочной способности, дальнейшее увеличение содержания воды (понижение цементно-водного фактора) ведет к уменьшению ее.

Не имея кривой смазочной способности теста в зависимости от цементно-водного фактора мы можем только утверждать, что при заданном цементно-водном факторе тесто обладает вполне определенной смазочной способностью.

Податливость бетонной массы при заданном отощателе и тесте заданного цементно-водного фактора зависит от количества смазки. С ростом количества смазки растет податливость бетонной массы.

Податливость бетонной массы при заданном отощателе накладывает условия на количество и качество цементного теста. Так как качество теста задается требованием прочности бетона, то по нужной податливости замеса определяется количество цементного теста.

Требуемая прочность бетона определяет цементно-водный фактор теста при заданном цементе, а нужная податливость замеса определяет расход этого теста при заданном стощателе.

ГЛАВА ВТОРАЯ

О т о щ а т е л ь

Отощатель идущий на изготовление бетона подразделяется в зависимости от величины зерен на песок и камневидную (гравий, щебень). Под песком подразумевается часть отощателя, проходящая через сито с круглыми отверстиями диаметром 7 мм. Деление на песок и камневидную вполне условно, как это видно из определения—размер отверстия в 7 мм. не имеет физического обоснования. Помимо песка и камневидной нужно отличать в отошателе его пылевидную составляющую тонины цемента (проход через сито в 900 отверстий на квадратный сантиметр), т.к. эта часть отощателя уплотняет цементное тесто.

Основные интересующие нас физические и механические качества отощателя определяются весьма просто (см. Инструкцию).

Остановимся лишь на следующих характеристиках материала:

- 1) Пористость (пустотность)
- 2) Гранулометрический состав
- 3) Модуль грануляции
- 4) Коэффициент Скрамтаева
- 5) Удельная поверхность.

Пористость отощателя измеряется отношением объема пор, содержащихся в отошателе к объему занимаемому отошателем и выражается в процентах. Пористость зависит от степени уплотнения материала и процента влажности. Пористость обычного материала может быть понижена путем добавления мелочи и порошкообразной части. Пористость имеет большое значение, т.к. при изготовлении бетона цементное тесто уходит на заполнение пустот материала.

Бетоны.

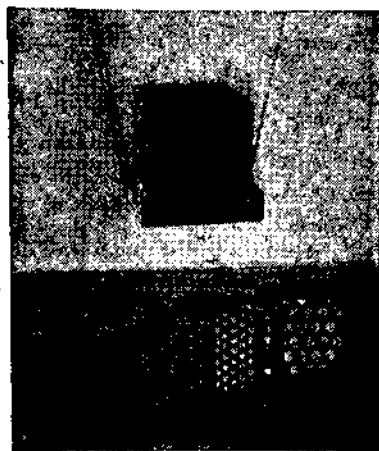
Но пористость сама по себе не имеет решающего значения, как мы это увидим из дальнейшего.

Плотно составленный отощатель может потребовать большего расхода цементного теста, чем менее плотный. Нас интересует не только суммарная пустотность материала, но и зерновой состав его.

Зерновой состав Гранулометрический (зерновой) состав материала характеризуется кривой грануляции (кривой просева). Зерновой состав материала является фактором большого значения и изучался многими авторами.

Весьма глубоко освещен вопрос профессором В. Новодворским¹⁾. Мы же остановимся на популярных работах Фуллера, Графа и Абрамса.

Кривая грануляции, показывающая зерновое строение материала строится следующим образом:



№ 17. Набор сит для просева отощателя и укладка сит в стопку

Отощатель пропускается через набор сит, начиная с сит большого просвета и кончая площадкой, на которой остается пыль, прошедшая через тончайшую сетку. Взвешивая остаток на каждом сите, находим количество отощателя, величина зерен которого меньше просвета предыдущего сита и больше просвета сита, на коем задержались зерна. Чем больше сит, тем детальнее будет результат просеивания. Для построения кривой грануляции откладываем

на оси абсцисс размеры просветов сит, а на оси ординат — вес отощателя, прошедшего через данное сито, выраженный в

¹⁾ О задачах гранулометрии в техн. бетонов. В. Новодворский, Баку.

процентах от общего веса. Работа по просеиванию отощателя иллюстрируется рисунками № 17 и 18.

При определении оптимальной кривой грануляции нельзя упускать из виду следующего важного обстоятельства: мелкие и пылевидные частицы хорошо уплотняют массу отощателя, но требуют в свою очередь большого расхода цементного теста на обволакивание и создание прослойки между отдельными частицами, т. к. цементная пыль ($d = 0,25$) тоже является уплотняющим веществом, то кривые грануляции задаются не для отощателя отдельно, а для смеси отощателя с цементом. В дальнейшем, определив содержание цемента и вычтя его из грануляции смеси, получим кривую грануляции отощателя.



№ 18. Приспособление для просева отощателя

Кривая Фуллера распадается на эллипс и на касательную к нему, проходящую через верхний правый угол графика см. рис. № 19.

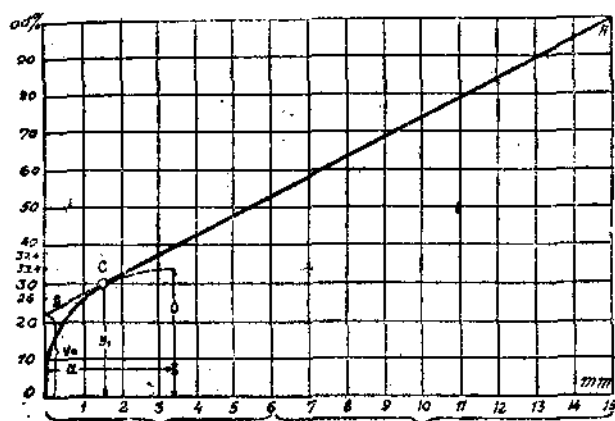


Рис. № 19. Кривая грануляции по Фуллеру.

Закон построения эллипса следующий:

V_0 —ордината прямой при $X=0$

V_1 —ордината точки касания C

a —малая ось эллипса.

b —большая ось эллипса.

Центр эллипса имеет абсциссу 7% .

d максимальная величина отощателя. Значения V_0 , V_1 , a и $b+7$ в зависимости от рода отощателя даны в ниже-следующей таблице:

Характер отощателя	V_0	V_1	a	$b+7$
Гравий и песок	26%	83,4%	0,164	35,6%
Щебень и песок	28,5%	85,7%	0,150	37 %
Щебень и искусственный песок	29%	86,1%	0,147	37,8%

выражается следующей диаграммой
Правило Графа (см. рис. № 20).

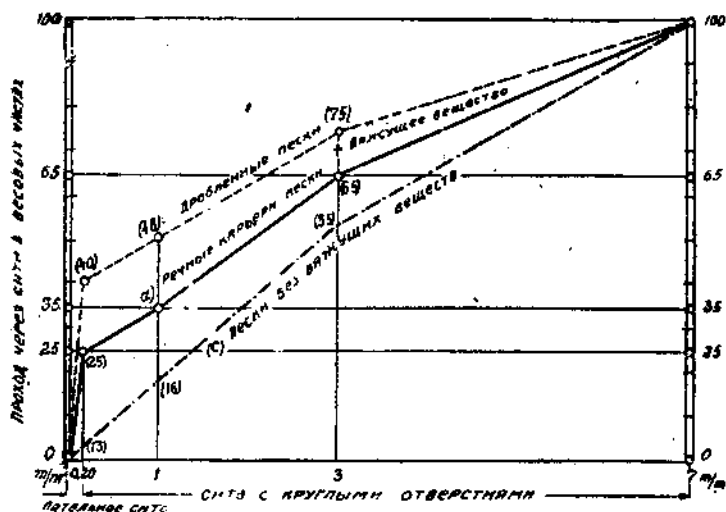


Рис. № 20. Идеальные кривые грануляции по Графу

Модуль Абрамса Абрамс заменил кривую грануляции посредством одного измерителя, определяемого довольно искусственным путем. Абрамс ввел модуль грануляции.

Модуль грануляции определяется следующим образом:

Отощатель пропускается через стандартный набор из девяти сит*), начиная с самого мелкого. Остаток на первом сите взвешивается и пропускается через второе сито; остаток на втором сите взвешивается и пропускается через третье и т. д. до последнего сита. Сумма весов остатков на ситах деленная на вес всей пробы, и называется модулем грануляции. Чем больше содержание мелких частиц в отошателе, тем меньше модуль грануляции отощателя.

*) Сита с квадратными отверстиями размером в переводе на метрические меры: 0,15 0,30; 0,59; 1,18; 2,37; 9,52; 19,05; 38,1 мм.

Пример

Размер сита Отощатель	0,147	0,25	0,5	1,18	2,37	4,75	9,52	19,05	38,1	Модуль грануляции
Мелкий песок	82	52	20	0	0	0	0	0	0	1,54
Гравий	100	100	100	100	100	85	66	25	0	6,86

Вес остатка на ситах выражен непосредственно в процентах от веса всей пробы.

Пробст дает следующую градацию отощателя в зависимости от модуля грануляции:

Название отощателя	Модуль грануляции
Мелкий песок	1,5
Средний песок	2,4
Крупный песок	3,1
Мелкий гравий	6,5
Средний „	6,9
Крупный „	7,4

Модуль грануляции подкупает своей простотой, т. к. дает возможность характеризовать зерновое строение отощателя одним отвлеченным числом, но в действительности модуль недостаточно выявляет состава отощателя.

В самом деле, модуль грануляции есть отношение суммы весов остатков на девяти ситах к весу пробы отощателя. Обозначив сита номерами 1—9, веса остатков g_1 — g_9 , вес отощателя g и модуль грануляции n , имеем

$$n = \frac{g_1 + g_2 + \dots + g_9}{g}$$

Возможны разные комбинации девяти переменных входящих в это выражение.

Кроме того, по грануляции мы не можем судить об отношении содержания пылевидной части, уплотняющей цементное тесто, к остальной массе отощателя, что чрезвычайно важно.

Гумель и другие германские исследователи ввели целый ряд корректив к предположению Абрамса. Мы остановимся только на предложении проф. Скрамтаева, т. е. в дальнейшем мы не оперируем модулем грануляции.

Коэффициент Скрамтаева

Профессор Скрамтаев в ранее цитированном „Бетоне“ следующим образом критикует метод Абрамса и мотивирует свое предложение об учете не только грануляции песка, но и пустотности его.

„По теории Абрамса с увеличением модуля крупности песка связано увеличение прочности раствора; наши опыты подтверждают это правило с большой оговоркой, а именно: влияние модуля крупности на прочность раствора можно установить только при одинаковых объемах пустот. В противном случае правило Абрамса не подтверждается. По приведенной ниже таблице можно видеть, например, что раствор с песком № 10 при $M^* = 3$ дает большую прочность (310 кг/см^2), чем при песке № 9 с $M = 4$ (прочность 265 кг/см^2), но объемы пустот их значительно разнятся (у песка № 10 $V^{**} = 33,3\%$; № 9 — $40,7\%$). Опыты показывают, что пески природные, представляющие собою смесь зерен различной величины, имеют меньшие объемы пустот, чем однородные (искусственно отсеянные), и потому первые дают большую прочность раствора при одинаковых модулях крупности.

Использовать старое правило о том, чтобы судить о качестве песка по одному объему пустот, не представляется возможным, так как одинаковые объемы пустот можно получить при комбинациях как мелких, так и крупных фракций; прочности растворов при этом получаются совершенно различные.

*) M — модуль грануляции.

**) V — пустотность.

На основании всего изложенного, можно сделать следующий вывод: ни модуль крупности, ни объем пустот не могут в отдельности охарактеризовать свойств песка (точнее его гранулометрического состава).

Предлагаемый нами новый метод оценки гранулометрического состава песка основан на одновременном использовании двух понятий—модуля крупности и объема пустот.

Математически оценку песка предлагается производить следующим коэффициентом (коэффициент инж. Скрамтаева)

$$K = M(N - V),$$

где M —модуль крупности,

V —объем пустот в процентах (в сухом рыхлом состоянии).

N —эмпирическое число, выбранное на основании опытов с тринадцатью различными песками.

Заметим, что от выбора числа N зависела та роль в оценке песка, которая уделяется объему пустот. Нами принято число $N = 50$ (наихудший песок имел объем пустот $V = 42\%$, следовательно, разность $(N - V)$ не будет равна нулю).

Приняв коэффициент K , нам удалось свести результаты испытаний всех песков (природных и искусственно отсеянных) в одну таблицу (см. ниже); с увеличением коэффициента K прочность раствора R также увеличивается. Графически зависимость

$$R = f(K)$$

изображена на графике (рис. 21). На нем нанесены две кривые для испытаний образцов в возрасте 28 дней и 6 месяцев, кривые идут почти парал-

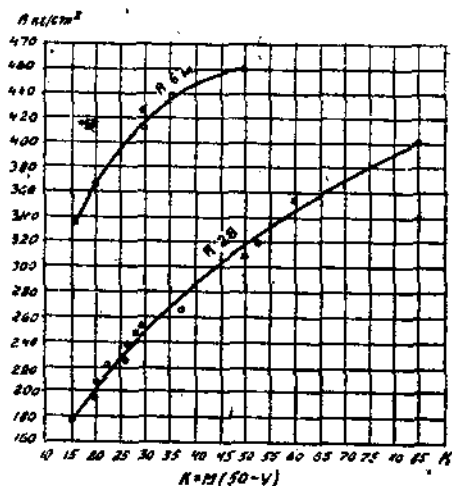


Рис. № 21. Прочность в данном возрасте в зависимости от коэффиц. Скрамтаева

тельно. Точки, полученные в результате испытаний, довольно близко совпадают с нанесенными плавными кривыми.

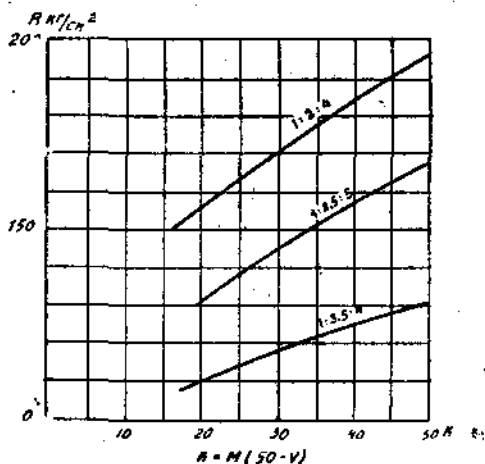


Рис. № 21а Прочность данного состава в зависимости от коэффициента Скрамтаева

Таблица испытания растворов с различными песками:

№ п/п.	Название песка	Модуль крупности М	Объем пустот в процен.	Коэффициент $K = \frac{M}{(50 - V)}$	Времен. сопротивление кг/см²	
					Через 28 дней	Через 6 месяцев
1.	Харьковский	1,67	40	16,7	179	336
2.	Балаклейский Харьк окр. . .	1,81	39,5	19	195	—
3.	Остаток на сите 0,8 мм. . .	2	40	20	209	368
4.	Харьковский карьерный . . .	1,95	38	23,4	222	—
5.	Полтавский	1,93	36	27	238	—
6.	Смесь нормальных вольских песков № 1 и 2 поровну	2,50	39,5	26,2	227	—
7.	Норм. вольский песок № 1 . .	3	40,5	28,5	246	413
8.	Коростенский	2,68	39	29,5	251	426
9.	Остаток на сите 1,25 мм. . .	4	40,7	37,2	265	—
10.	Бердичевский	3	33,8	50,1	310	460
11.	Кутейниково (Донбас) . . .	3,18	33,6	52,1	320	—
12.	Смесь № 1/2, 5-5 мм. 50% и Харьковского песка 50% . .	3,33	32	59,9	354	—
13.	Смесь № 2 { 2-5 мм-60% 1-2 -20% 0,5-1-10% 0,3-0,5-5% 0-0,3мм-5%	4,25	30	85	400	—

Перейдем к последнему пункту—к удельной поверхности.

Удельная поверхность — это отношение величины поверхности отощателя к объему тела его.

Добавлением мелочи к отощателю, изменением его кривой грануляции, возможно понизить пустотность материала, но одновременно происходит увеличение поверхности зерен.

Нас интересует зависимость между величиной поверхности отощателя и его кривой грануляции.

Введем следующие обозначения:

V — объем отощателя в м^3 .

α — пустотность в процентах.

F — поверхность отощателя в м^2

X — величина зерна в мм.

U — удельная поверхность, т. е. отношение величины поверхности к объему тела отощателя.

V_0 — объем тела отощателя.

Объем тела отощателя при пустотности α выразится равенством

$$V_0 = V (1 - \alpha)$$

Искомая удельная поверхность отощателя определится отношением

$$U = \frac{F}{V_0} = \frac{F}{V (1 - \alpha)}$$

Удельная поверхность и кривая грануляции

Кривую грануляции отощателя мы можем рассматривать в общем виде ее, как выражение функциональной зависимости объема от линейного размера. Имеем в этом случае

$$V = f(X) \dots \dots \dots (1)$$

Естественно принять, что поверхность отощателя данного объема обратно пропорциональна линейному измерению его. Рассматривая кривую грануляции, как выражение функциональной зависимости объема от линейного размера имеем:

$$V = f(X),$$

где V — объем, X — величина зерна.

Согласно допущения, отношение дифференциала поверхности к дифференциалу объема выражается зависимостью

$$dF = \beta \frac{Vd}{X} = \beta \frac{df(X)}{X} \dots \dots (2)$$

где β коэффициент, зависящий от формы зерна и пористости отощателя *).

Для обычного песка и гравия β можно принять равным 6 (1— α), что соответствует отношению поверхности шара к объему его. Для щебенки и искусственного песка отношение это возрастает и может быть принято равным 8 (1— α).

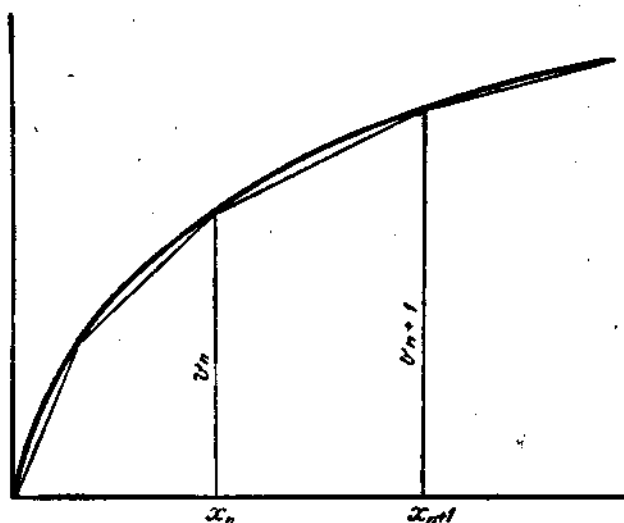


Рис. № 22. Схема для построения кривой удельной поверхности.

*) Объем V_0 шара диаметра X равен $\frac{\pi X^3}{6}$ поверхность его $F = \pi X^2$ поэтому:

$$\frac{F}{V_0} = \frac{6}{X}, F = \frac{6V_0}{X}$$

Т. к. пористость отощателя равна α , то $V_0 = (1 - \alpha) V$.

Следовательно $F = \frac{6(1-\alpha)}{X}$, $V = \beta \frac{V}{X}$; $\beta = 6(1-\alpha)$

Интегрируем выражение (2) в пределах $X=0,2$ мм. до $X=X_0$, где X_0 максимальная величина зерна, получим:

$$F = \beta \int_{0,2}^{X_0} \frac{df(X)}{X} \dots \dots \dots (3)$$

Заменяем кривую грануляции ломанной для интегрирования по участкам.

Координаты начала и конца n -го участка обозначим:

$$X_n, X_{n+1}, V_n, V_{n+1}.$$

Уравнение прямой n -го участка выразится равенством:

$$V = V_n + \frac{V_{n+1} - V_n}{X_{n+1} - X_n} (X - X_n) \dots \dots (4)$$

Откуда:

$$\begin{aligned} dF &= \beta \frac{V_{n+1} - V_n}{X_{n+1} - X_n} \frac{dX}{X}, \\ [F]_{X_n}^{X_{n+1}} &= \beta \frac{V_{n+1} - V_n}{X_{n+1} - X_n} [\lg_e X]_{X_n}^{X_{n+1}} \\ &= \beta \frac{V_{n+1} - V_n}{X_{n+1} - X_n} \lg_e \frac{X_{n+1}}{X_n} \end{aligned}$$

Вся поверхность отощателя

$$F = \beta \sum \frac{V_{n+1} - V_n}{X_{n+1} - X_n} \lg_e \frac{X_{n+1}}{X_n}.$$

Проще и нагляднее определяется поверхность отощателя при заданной кривой грануляции графоаналитически.

Отделивши горизонталью проходящей через точку кривой с абсциссой 0,2 объем V_1 от V_2 делим последний на n равных частей и проводим горизонтали разбивающие кривую на участки V_2/n с абсциссами середин — участков $X_1, X_2, \dots, X_n$ (на чертеже абсциссы обозначены просто 1, 2 . . . 7). Соеди-

нием абсциссы середин лучком лучей с точкой $A—V_2/\pi$ и проводим вспомогательную вертикаль на произвольном расстоянии a . Пучек $A_{1,2,3}\dots$ разворачиваем в ломанную кривую с

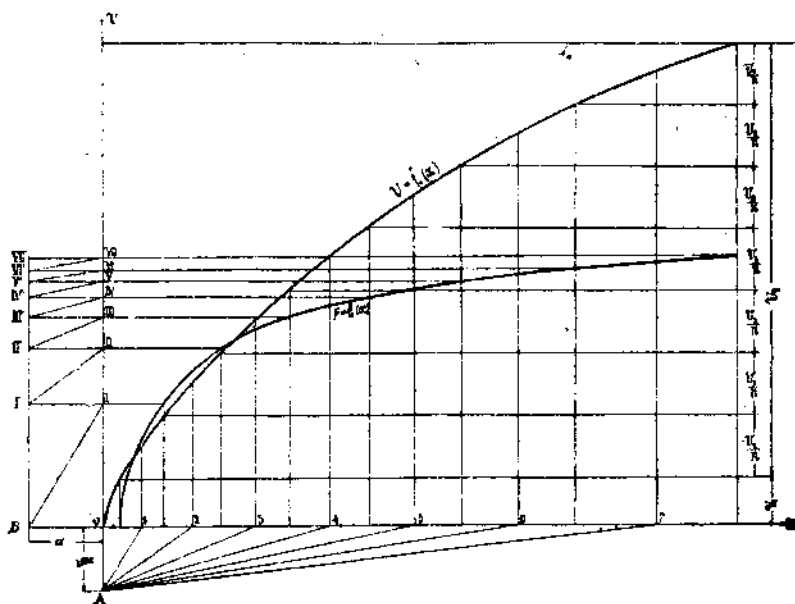


Рис. № 23. Построение кривой удельной поверхности

горизонтальными вставками $B\ I, I'\ II, II'\ III \dots$ (наклонные $B\ I, I'\ II, II'\ III \dots$ соответственно-параллельны лучам $A\ 1, A\ 2, A\ 3$).

Треугольники $B\ I\ I', I'\ II\ II', II\ III\ III'$ и т. д. подобны треугольникам $A01, A02, A03$ и т. д. Из подобия треугольников следует:

$$\frac{BI'}{a} = \frac{V_2}{\pi X_1}, \quad \frac{I'II'}{a} = \frac{V_2}{\pi X_2}, \dots$$

Но с другой стороны

$$\frac{V_2}{\pi X_1} = \frac{F_1}{\beta}, \quad \frac{V_2}{\pi X_2} = \frac{F_2}{\beta_2}, \dots,$$

откуда

$$F_1 = \frac{\beta}{a} BI', \quad F_2 = \frac{\beta}{a} I' II'.$$

Отрезки BI' , BII' , $BIII'$, и т. д. являются ординатами кривой F взятыми в одном и том же масштабе.

Проектируя точки I' , II' , III' и т. д. на вертикали проходящие через границы участков 1, 2, 3 и т. д., строим кривую F .

Так как кривая F положе V , то необходимо задаваться большим a .

Если все же встретятся трудности при построении кривой, то можно изменить масштаб a для концевых участка кривой F .

По кривой F можно скорректировать кривую грануляции.

Нанося кривую удельной поверхности на кривую грануляции, мы имеем ясное представление о характере материала и о влиянии отдельных фракций на качества его.

При вычислении удельной поверхности эта наглядность теряется. Вычерчивание кривой удельной поверхности не вызывает каких-либо трудностей.

Детали построения кривой удельной поверхности и технические указания даны в главе IV отдела 2. „Проектирование состава бетона обделки напорного тоннеля АЦЭС‘а.“

Главу об отощателе мы закончим следующей сводкой.

Отощатель, поступающий в лабораторию изучается согласно инструкции для выявления основных физико-механических свойств его.

Для проектирования состава бетона составляется кривая грануляции материала, на этом же графике наносится кривая удельной поверхности и выписываются сведения о пустотности материала α и объемном весе его Δ .

Этих сведений достаточно для дальнейшей работы.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Основы проектирования состава бетона

Проектирование состава бетона имеет целью выявить наиболее рациональный состав бетона обладающего, нужными качествами.

Подбор состава бетона изучается уже давно. Одной из первых серьезных работ является труд Фере, изданный еще в 1893 году.

В 1895 году опубликовал свои работы русский автор Малюга.

Работы обоих авторов получили в свое время сравнительно малое распространение. Большей популярностью пользовался метод Сафира.

Метод Сафира Сафир положил следующую схему в основу своего способа определения состава бетона. Цементный порошок при смешивании с песком заполняет поры в песке. Для обеспечения заполнения, цемента берется избыток против объема пор. Полученная смесь цемента с песком должна заполнить поры в камневидной. Смесь опять-таки берется с запасом.

Положения Сафира легко укладываются в формулы.

Обозначим: объем цемента — t
 объем песка — V_1
 пустотн. песка — α_1

Объем пустот песка выразится формулой

$$V_1 \alpha_1$$

Этот объем должен быть заполнен с избытком цементом, следовательно

$$t = V_1 \alpha_1 \varphi_1 \dots \dots \dots (1)$$

где φ_1 — коэффициент заполнения пустот в песке, больший единицы.

Объем смеси цемента с песком равен сумме объемов тел, составляющих эту смесь, т. е. он выразится соответствующей суммой

$$t + V_1 (1 - \alpha_1)$$

Подставляя в это выражение равенство (1) имеем
 $t + V_1 (1 - \alpha_1) = V_1 \alpha_1 \varphi_1 + V_1 (1 - \alpha_1) = V_1 [1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1] \quad (2)$

Вводя далее обозначения:

V_2 — объем камневидной

α_2 — пустотность камневидной

φ_2 — коэффициент заполнения пустот в камневидной

получаем вполне аналогично предыдущему:

$$V_1 [1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1] = \varphi_2 V_2 \alpha_2 \dots \dots \dots (3)$$

Объем уплотненной камневидной или, что то же самое объем бетона, равен сумме объемов цемента, песка и камневидной.

$$V_1 [1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1] + V_2 (1 - \alpha_2) \dots \dots \dots (4)$$

что при помощи равенства (3) дает:

$$\begin{aligned} V_1 [1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1] + V_2 (1 - \alpha_2) &= \varphi_2 V_2 \alpha_2 + V_2 (1 - \alpha_2) = \\ &= V_2 [1 + (\varphi_2 - 1) \alpha_2] \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

Т. к. нас интересует расход материала на единицу объема бетона, то мы переписываем равенство (5) в виде уравнения:

$$V_2 [1 + (\varphi_2 - 1) \alpha_2] = 1 \dots \dots \dots (6)$$

Решая уравнение (6) относительно V_2 имеем

$$V_2 = \frac{1}{[1 + (\varphi_2 - 1) \alpha_2]} \dots \dots \dots (7)$$

Подставляя равенство (7), в уравнение (3) и решая его относительно V_1 , имеем

$$V_1 = \frac{\varphi_2 V_2 \alpha_2}{[1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1]} = \frac{\varphi_2 \alpha_2}{[1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1] \cdot [1 + (\varphi_2 - 1) \alpha_2]}$$

$$V_1 = \frac{\varphi_2 \alpha_2}{[1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1] \cdot [1 + (\varphi_2 - 1) \alpha_2]} \dots \dots \dots (8)$$

Далее на основании равенства (1) имеем

$$t = \frac{\varphi_1 \alpha_1 \varphi_2 \alpha_2}{[1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1] \cdot [1 + (\varphi_2 - 1) \alpha_2]} \dots \dots (9)$$

По формулам 7—9 Сафир определяет состав бетона. Не трудно убедиться, что по существу формулы не верны, т. к. ими не учитывается столь важная составная часть бетона как вода.

Сафир ошибается в самом начале, говоря, что цемент заполняет поры в песке. Не цемент, а цементное тесто, т. е. цемент плюс вода образуют совместно с песком раствор, при чем цементное тесто с избытком заполняет пустоты песка. Несмотря на очевидную свою неправильность формулы Сафира можно найти даже в изданиях 1930 года.

Это обстоятельство указывает на то, что в формулах имеется некая здравая идея. Этой мыслью является пользование ясными физическими понятиями, как коэффициент заполнения пустот в тесте и камневидной.

Формулы 7—9 будут нами использованы в дальнейшем изложении.

Перейдем к методу, получившему **Метод Абрамса** большую популярность—к методу Абрамса и увяжем его с работами Фере.

Инженер Р. Фере — Директор Лаборатории Путей Сообщения в Булони, выразил зависимость прочности раствора от качества цемента и способа изготовления его формулой.

$$R_d = K \left(\frac{c}{1 - s} \right)^2$$

где R_d — кубиковая прочность раствора в кг/см^2 в данном возрасте, приготовленного из данного цемента, и при данном способе хранения (воздушное, водное или смешанное).

c — объем цемента на единицу объема раствора.

s — объем песка в единице объема раствора.

K — коэффициент, зависящий от качества цемента, возраста раствора и способа хранения его.

Бетоны.

Если мы обозначим объем пор, содержащийся в единице объема раствора, через p , а объем воды w , то приходим к равенству:

$$1 = w + p + s + c$$

откуда

$$1 - s = p + w + c$$

подставляя в равенство Фере, имеем

$$\beta d = K \cdot \left(\frac{c}{p + w + c} \right)^2 = K \cdot \left(\frac{1}{1 + \frac{w}{c} + \frac{p}{c}} \right)$$

Если цементное тесто достаточно плотно, то можно пренебречь небольшим объемом пор и тогда закон Фере принимает вид:

$$\beta d = K \left(\frac{1}{1 + \frac{w}{c}} \right)^2$$

Отношение объема воды к цементу можно заменить отношением весов их.

Отношение веса воды к весу цемента названо Абрамсом водо-цементным фактором. Пренебрегая объемом пор в цементном тесте, мы получаем из закона Фере положение Абрамса, что прочность цементного камня зависит от водо-цементного фактора.

Не нужно упускать из виду, что пользуясь законом Абрамса, т. е. не учитывая влияния уплотнения теста камневидной, мы делаем допущение в запас расчета, что связано обычно с некоторым перерасходом цемента.

Далее Абрамс оперирует модулем грануляции и сплывом конуса и дает на основании своих работ и опытов номограмму для проектирования состава бетона.

Как видно из чертежа № 24, номограмма распадается на семейство кривых прочности бетона, горизонтальную шкалу консистенции бетона, вертикальную шкалу состава бетона и наклонную шкалу модуля грануляции. Все шкалы простые и дают возможность легкого интерполирования. Способ пользования номограммой следующий: на кривой необходимой прочности ищем точку с абсциссой, равной потребной консистенции. Найденную точку проектируем на основную вертикаль, проходящую через абсциссу с консистенцией 1.

Проекция на основную вертикаль служит полюсом радиусов векторов, пересекающих шкалу состава и модуля грануляции. Задаваясь составом, мы можем найти модуль грануляции и, наоборот, по модулю грануляции находим состав.

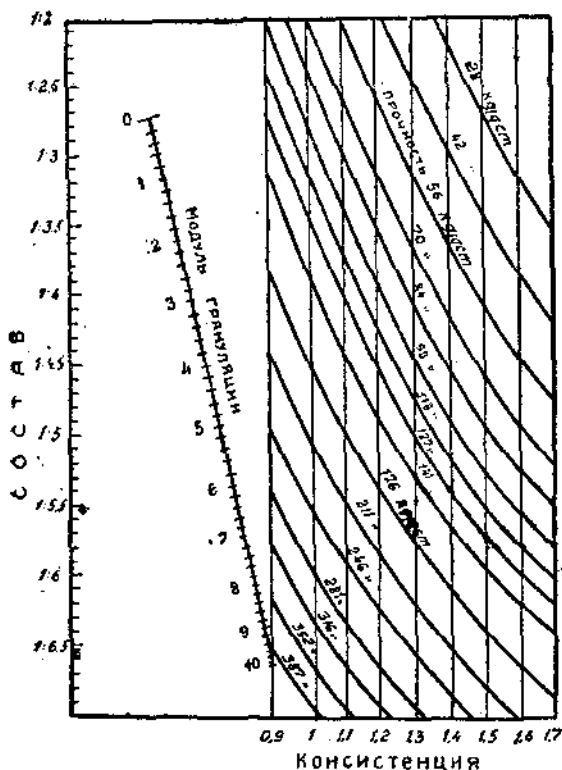


Рис. № 24. Номограмма Абрамса для подбора состава бетона

Нами рассмотрено решение основной задачи: по прочности бетона и консистенции бетонной массы определить состав бетона и модуль грануляции отощателя. Можно, пользуясь номограммой, решить любую задачу нахождения четвертой неизвестной по трем данным.

Пример: Даны состав бетона, модуль грануляции отощателя и прочность бетона, найти консистенцию. Соединив прямой отметку состава бетона с модулем грануляции отощателя, найдем точку пересечения с основной вертикалью. Из этой точки пересечения проведем горизонталь до встре-

чи с заданной кривой прочности; абсцисса этой точки дает значение искомой консистенции.

Номограмма Абрамса при всей своей простоте и наглядности обладает рядом недостатков. Отметим следующие:

1. Номограмма составлена для определенного стандартного цемента и должна быть пересоставлена для иных цементов.

2. Единицы консистенции ни в какой степени не являются величиной постоянной, т. к. сплыва в 1 можно достигнуть при разном количестве воды, не говоря уже о неточности определения величины сплыва при помощи конуса Абрамса. Задавать столь сложным и ненадежным способом расход воды, как это получается при пользовании номограммой Абрамса — нерационально, т. к. расход воды является одним из важнейших аргументов, определяющих качество бетона. Расход цемента определяется по составу бетона. Цементно-водный фактор, предопределяющий прочность бетона, не фигурирует в номограмме Абрамса и может быть определен, как отношение двух найденных величин: консистенции и состава бетона. Между тем, цементно-водный фактор должен быть положен в основу проектирования состава бетона и задаваться непосредственно.

3. Модуль грануляции, как мы выше показали, недостаточно характеризует отощатель.

4. При пользовании номограммой мы не освобождены от решения задач проектирования состава бетона последовательными попытками, т. к. нормальную консистенцию (консистенцию 1) бетонной массы мы можем найти, лишь изготовив достаточное количество пробных конусов.

Но основным недостатком метода является пренебрежение плотностью бетона, этим чрезвычайно важным физическим фактором, определяющим судьбу бетона.

Это обстоятельство отмечено на совещании Американского Института бетона в Мильвоки.

Совещание констатировало, что:

„Пористость бетона является основной причиной его недолговечности.

Высказано веское, серьезное предупреждение: ныне изготавливаемый бетон менее плотен, чем изготавливавшийся

десять лет тому назад, что, вероятно, обусловит меньшую стойкость его.

Пристрастие к нормированию прочности бетона создает опасную ситуацию, т. к. принимая за критерий доброкачественности бетона его прочность, мы тем самым ошибочно верим в стойкость и невыветриваемость материала.*)

Под этим углом зрения ставится под сомнение целесообразность применения метода Абрамса на родине его - в САСШ.

Если экономические условия САСШ позволяют перерасход цемента в целях упрощения работы, то в наших условиях, такой перерасход оправдан быть не может.

Метод проектирования состава бетона Абрамса обеспечивает необходимую прочность бетона, но не гарантирует долговечности его. При проектировании состава бетона по Абрамсу мы не доводим расхода цемента до возможного минимума.

Перечисленные обстоятельства заставили советских исследователей отнестись критически к методу Абрамса и выдвинуть свои предложения.

Проф. Скрамтаев, учитывая недостатки метода Абрамса перешел от проектирования состава бетона к подбору его попытками.

Изготавливая на цементном тесте постоянного цементно-водного фактора пробные замесы из отощателя разных составов, он останавливается на том составе, который удовлетворяя условиям консистенции, является наиболее экономным.

Нам все же кажется не целесообразным полностью отказываться от анализа. Анализ явлений, увязанный с опытом и проверенный опытом, дает картину строения бетона и работы его. На основании такого анализа мы можем дать методы проектирования состава, располагая их по степени сложности с оценкой точности их.

Чем проще работа и чем меньше объем ее, тем проще и метод проектирования; с ростом ответственности работы и объема ее уточняется и метод. В обычных случаях метод проектирования

*) Bauingenieur № 38 от 18 сентября 1931 г.

выливается в инструкции популярного характера, выполняемые нисшим персоналом без лабораторного оборудования в более серьезной обстановке, когда имеются квалифицированные работники, располагающие некоторым лабораторным оборудованием, подобные инструкции теряют свое значение и должны быть заменены указаниями, которыми должен пользоваться работник, учитывая условия и обстановку работы.

В начале нашей работы мы пошли по пути синтеза метода Сафира и Фере.

В чем же выразился этот синтез? Беря от Сафира правильную мысль о необходимости учета важного физического фактора бетона—плотности, мы дополнили его видоизмененные формулы зависимостью прочности цементного камня от цементно-водного фактора и степени уплотнения пылью.

Формулы 7—9 представляют вполне реальный смысл, если подразумевать под буквой t не объем цемента, а объем цементного теста. Что же касается цементного теста t , то объем его составляет из объема цемента Z_0 , объема воды W и объема уплотняющей пыли p . В обычных случаях объем пыли p можно учитывать в объеме отощателя, не вводя его в учет объема теста. Тогда объем цементного теста t складывается из суммы объемов цемента и воды.

$$t = Z_0 + W \dots \dots \dots (10)$$

Ранее мы указали, что в системе цемент-вода (цементное тесто и продукт твердения—цементный камень) существенную роль играет цементно-водный фактор, т. е. отношение веса цемента к весу воды в смеси.

Обозначим этот фактор буквой K , а вес цемента буквой Z , тогда.

$$K = \frac{Z}{W} \dots \dots \dots (11)$$

Вес воды обозначается той же буквой, что и объем ее, так объемный вес воды принят равным 1. Что касается объемного веса цемента, то он принимается равным 3, чем отчасти учитывается разбухание цемента в воде.

Тогда, подставляя в уравнение (10) $z_0 = Z/3$ и решая его совместно с уравнением (11), получаем.

$$W = t \cdot \frac{3}{K+3} \quad (12)$$

$$Z = t \cdot \frac{K}{K+3} \quad (13)$$

Формулы 12 и 13 показывают, из каких весовых частей цемента и воды складывается объем цементного теста t в зависимости от цементно-водного фактора K .

Выписываем для удобства основные формулы.

$$V_2 = \frac{1}{1 + (\varphi_2 - 1) a_2} \quad I$$

$$V_1 = \frac{\varphi_1 a_1}{[1 + (\varphi_1 - 1) a_1] \cdot [1 + (\varphi_2 - 1) a_2]} \quad II$$

$$t = \frac{\varphi_1 a_1 \varphi_2 a_2}{[1 + (\varphi_1 - 1) a_1] [1 + (\varphi_2 - 1) a_2]} \quad III$$

$$W = t \cdot \frac{3}{K+3} \quad IV$$

$$Z = t \cdot \frac{K}{K+3} \quad V$$

Из приведенных пяти формул III-ая является промежуточной.

Оставшиеся 4 уравнения увязывают 9 величин:

$$a_1, a_2, K, \varphi_1, \varphi_2, V_2, V_1, Z \text{ и } W$$

Пустотность песка и гравия a_1 и a_2 являются данными и зависят от качества отощателя. Эти величины определяются при изучении отощателя.

Цементно-водный фактор K зависит от требуемой прочности бетона и кривой прочности цемента.

По требуемой прочности бетона и кривой прочности цемента пускаемого в дело, определяется величина K . Из девяти переменных, три первые являются, таким образом,

данными, оставшиеся 6 увязаны четырьмя уравнениями. В нашем распоряжении остаются две переменные, которыми мы можем маневрировать, проектируя состав бетона. Так как мы ищем последние четыре величины, а именно V_2 , V_1 , Z и W , то в нашем распоряжении остаются величины φ_1 и φ_2 , т. е. коэффициенты заполнения пустот в песке и камневидной.

Мы должны так подобрать φ_1 и φ_2 , чтобы удовлетворив требования податливости бетонной массы, довести расход цемента до минимума*).

**Коэффициент
заполнения пустот.**

Правильное решение задачи возможно лишь при ясном понимании физического значения коэффициентов φ_1 и φ_2 .

φ_1 -коэффициент заполнения пустот в песке—это отношение объема цементного теста к объему пустот в песке. Коэффициент этот больше единицы, т. к. цементное тесто не только заполняет пустоты между зерен песка, но и раздвигает зерна, смазывая их поверхность. Чем больше коэффициент φ_1 , тем жирнее раствор и тем он подвижнее при заданном цементно-водном факторе теста.

Если требуется бетон большой прочности, то цементно-водный фактор велик и цементное тесто замешивается густо. В этом случае для получения подвижного раствора нужно много теста для смазки, что влечет за собой повышение коэффициента заполнения пустот в песке. Чем прочнее требуется бетон и чем пластичнее должен быть раствор, тем больше следует принимать φ_1 .

Переходя к бетону, мы вводим в раствор камневидную для отощание раствора.

Раствор должен не только заполнить пустоты камневидной, но и смазать поверхность частиц с тем, чтобы придать смеси (бетону) подвижность. Объем раствора должен быть больше чем объем пустот камневидной. Отношение объема раствора к объему пустот камневидной и есть коэффициент заполнения пустот камневидной φ_2 . Чем податливее должен быть бетон, тем больше должно быть значение φ_2 . Чем

*) Требуемая прочность бетона удовлетворяется назначением водо-цементного фактора K .

жирнее раствор, тем меньше может быть толщина смазки камневидной для достижения требуемой податливости бетона.

Мы можем изготовить податливый бетон на тощем растворе употребляя много раствора, или уменьшить количество раствора за счет повышения жирности его. Что же выгоднее — изготавливать бетон на большем количестве тощего раствора или уменьшить количество раствора, повышая жирность его?

В первом случае мы имеем мало камневидной и много песка в бетоне, во втором увеличивается доля камневидной за счет уменьшения песка. Второй прием выгоднее, так как вводя в бетон побольше камневидной, мы тем самым уменьшаем поверхность отощателя, как это мы ранее показали, и уменьшаем расход теста на смазывание поверхности. Вводя в бетонную массу камневидную, мы должны обеспечить достаточное уплотнение ее, т. к. при избытке камневидной может не хватить раствора. Уплотнение камневидной характеризуется коэффициентом заполнения пустот — φ_2 , который должен быть больше единицы.

Учитывая неточности в работе и возможность неравномерного распределения раствора, следует принимать φ_2 не менее 1,2. Задав φ_2 , мы располагаем лишь φ_1 . Первоначально мы принимаем $\varphi_1 = 1,2$. Подсчитав по φ_1 и φ_2 в зависимости от α_1 , α_2 и K состав бетона, мы приготовляем небольшой пробный замес и проверяем его консистенцию. Если консистенция удовлетворительная, то состав может быть принят окончательно, если же бетонная масса получилась слишком густая, то мы повышаем податливость ее, увеличивая жирность раствора, т. е. увеличивая φ_1 .

Мы меняем φ_1 до тех пор, пока не достигнем желаемой податливости замеса. Получив замес требуемой податливости, мы тем самым находим искомый состав бетона, гарантирующий как консистенцию массы, так и прочность бетона, т. к. цементно-водный фактор принят обеспечивающим нужную прочность бетона. Операция приготовления состава бетона на деле много проще, чем описание ее т. к. задавать φ_1 приходится не более 2–3 раз. Для облегчения выкладок

служат таблицы и номограммы, дающие решение системы уравнений 1—V.

Таблицы составлены профессором К. С. Завриевым, а номограммы (обычная и механизированная) инженером В. В. Михайловым. В главе 5 отдела 2 даны номограммы В. В. Михайлова с показанием способа пользования и примером подбора состава. Таблицы К. С. Завриева помещены в сборниках ЗИС'а. (Бетон выпуск 1—2)

Перейдем к изложению разработанных нами методов проектирования состава бетона, каковые мы подразделяем на „последовательный“ и „прямой“.

При последовательном проектировании мы оперируем коэффициентами заполнения пустот песка и камневидной, переходя последовательно от раствора к бетону; при прямом методе мы непосредственно увязываем цементное тесто и отошатель.

Метод последовательного проектирования	Изучается песок и камневидная (по инструкции) и определяется пустотность материалов α_1 и α_2. По требуемой прочности бетона и в зависимости от качества цемента, определяется цементно-водный фактор K. Затем при помощи таблиц или номограммы, определяем по заданному α_1, α_2 и K состав бетона при $\varphi_1=1,2$ и $\varphi_2=1,2$.
--	---

Определивши консистенцию пробного замеса, меняем φ_1 до тех пор, пока не получим бетонную массу нужной податливости. Остановившись на определенном составе, готовим контрольные образцы для испытания их в соответствующих возрастах.

Испытания служат только контролем во избежание неожиданностей, т. к. прочность бетона гарантирует назначение цементно-водного фактора K . Вся операция проектирования состава бетона и проверка консистенции может быть выполнена в один прием, что чрезвычайно важно, т. к. не замедляет хода работ.

Весьма важна проверка объемного веса бетона.

Теоретический объемный вес бетона весьма легко определить, зная состав его и объемный вес ингредиентов

$$\Delta \text{ бетона} = \frac{Z + W + V_1 \Delta_1 + V_2 \Delta_2}{1000}$$

Z и W вес цемента и воды в кг.

V_1 и V_2 объемы песка и камневидной в литр.

Δ_1 и Δ_2 объемные веса песка и камневидной в кг/литр.

Δ объемный вес бетона в тон/м³ бетон

Фактический объемный вес бетона определяется взвешиванием формы известного объема, до и после заполнения ее бетоном.

Для кубиков $20 \times 20 \times 20$ см.

$$\Delta \text{ бет} = \frac{P_2 - P_1}{8}$$

где P_1 — вес пустой формы в кг.

P_2 — вес формы заполненной бетоном в кг.

Описание работы проектирования с индивидуальными особенностями дано в главе 5 отдела 2 — «Проектирование состава бетона для железобетонной обделки напорного тоннеля Дзорагетстроя».

Изложенный метод проектирования состава бетона прост, но обладает слабым местом. Мы оперируем коэффициентами уплотнения песка и камневидной порознь не отдавая себе отчета о коэффициенте уплотнения бетона. Ведь в бетоне нет ни песка, ни камневидной порознь, а имеется смесь этих материалов — отошатель.

Нас интересует в конечном счете коэффициент заполнения пустот отошателя, а не промежуточные величины коэффициентов заполнения песка и камневидной.

Не зная зависимости коэффициентов уплотнения бетона от соответствующих коэффициентов песка и гравия, мы должны идти в сторону запаса, т. е. в сторону увеличения φ_1 и φ_2 , принимая их обычно не ниже чем 1,2.

В случае же гидротехнических бетонов, где требуется высокая плотность, величины эти доводятся до 1,7, согласно

предложения Остендорфа и „Указания по применению растворов и бетона“ Германского О-ва Государственных железных дорог. Во избежание подобного „запаса расчета“ и связанного с ним перерасхода цемента, нужно установить зависимость между коэффициентом уплотнения отощателя и соответствующими коэффициентами песка и камневидной

Коэффициент уплотнения бетона Коэффициент уплотнения бетона выражается отношением объема цементного теста к объему пустот в отощателе.

$$\varphi = \frac{t}{V\alpha}$$

где φ — коэффициент заполнения пустот отощателя

t — объем цементного теста

V — объем отощателя

α — пустотность отощателя.

Коэффициент уменьшения объема Отощатель — смесь песка с камневидной — имеет объем меньший, чем сумма объемов смешиваемых частей

$$V < V_1 + V_2$$

Это неравенство можно выразить равенством

$$V = r(V_1 + V_2) \dots \dots \dots (14)$$

вводя понятие — коэффициент уменьшения объема — r .

Коэффициент уменьшения объема определяется весьма просто опытным путем следующим образом:

Смешивается песок и камневидная в определенных объемах q' и q'' .

Полученный от смешения отощатель уплотняется в форме для изготовления кубиков.

Определяются веса отощателя в объеме формы (p_1) и остатка (p_2).

Обозначая объем формы q_1 найдем объем всего уплотненного отощателя

$$q = \frac{q_1}{p_1} (p_1 + p_2)$$

Коэффициент уменьшения объема при смешивании определится из равенства:

$$q = \frac{q_1}{p_1} (p_1 + p_2) = r \cdot (q' + q'')$$

откуда

$$r = \frac{q_1}{q' + q''} \cdot \frac{p_1 + p_2}{p_1}$$

Пример:

Песок Натахтарский	4 литра	(q')
Гравий "	8 литров	(q'')
Объем формы	8 литров	(q)
Вес смеси в форме	17,45 кг.	(p ₁)
Вес остатка смеси	2,81	(p ₂)

$$r = \frac{8}{4 + 8} \cdot \frac{17,45 + 2,81}{17,45} = 0,77$$

Фактор отошателя Коэффициент уменьшения объема при заданном песке и камневидной зависит от отношения объема камневидной к песку. Это отношение назовем фактором отошателя и обозначим его буквой п.

Согласно определения

$$n = \frac{V_2}{V_1} \dots \dots \dots (15)$$

Не представляет труда построить кривую уменьшения объема в зависимости от фактора отошателя п.

**Пористость
отошателя**

Пользуясь понятием фактора отошателя п и коэффициента уменьшения объема r, перейдем к решению поставленной задачи выяснения зависимости коэффициента уплотнения отошателя и соответствующих коэффициентов песка и камневидной.

Объем тела отошателя равен сумме объемов тела ингредиентов

$$V(1 - a) = V_1(1 - a_1) + V_2(1 - a_2) = V_1 \left[(1 - a_1) + \frac{V_2}{V_1} (1 - a_2) \right]$$

$$V(1 - a) = V_1 [(1 - a_1) + n(1 - a_2)] \dots \dots \dots (16)$$

Подставляя в равенство (а) зависимость

$$V = r(V_1 + V_2) = rV_1(1+n) \dots \dots \dots (b)$$

имеем

$$rV_1(1+n)(1-\alpha) = V_1[(1-\alpha_1) + n(1-\alpha_2)]$$

или после преобразования

$$1-\alpha = \frac{(1-\alpha_1) + n(1-\alpha_2)}{r(1+n)}$$

откуда

$$\alpha = 1 - \frac{(1-\alpha_1) + n(1-\alpha_2)}{r(1+n)} \dots \dots \dots (c)$$

Согласно определению

$$\varphi = \frac{t}{V\alpha} \text{ и } \varphi_1 = \frac{t}{V_1\alpha_1}$$

откуда

$$t = \varphi V\alpha = \varphi_1 V_1\alpha_1$$

следовательно

$$\varphi = \frac{\varphi_1 \alpha_1 V_1}{V\alpha} = \frac{\varphi_1 \alpha_1 V_1}{rV_1(1+n)\alpha} = \frac{\varphi_1 \alpha_1}{(1+n)\alpha r} \dots \dots \dots (d)$$

Преобразуем знаменатель дроби при помощи равенства (с)

$$\begin{aligned} \alpha r(1+n) &= (1+n)r \left[1 - \frac{(1-\alpha_1) + n(1-\alpha_2)}{r(1+n)} \right] = \\ &= r(1+n) - (1-\alpha_1) + n(1-\alpha_2) = [\alpha_1 - (1-r)] + \\ &\quad + n[\alpha_2 - (1-r)] \end{aligned}$$

и поставим в равенство (d)

Имеем

$$\varphi = \frac{\varphi_1 \alpha_1}{[\alpha_1 - (1-r)] + n[\alpha_2 - (1-r)]} \dots \dots \dots (VI)$$

Величина r колеблется в сравнительно тесных пределах. Если мы смешиваем однородные материалы, то объем смеси

не изменяется $V = V_1 + V_2$, следовательно $r = 1$. Другой предел соответствует допущению, что песок целиком входит в пустоты камневидной, не раздвигая частиц ее, т. е. объем смеси равен первоначальному объему камневидной. В этом случае

$$V = r(V_1 + V_2) = V_2$$

откуда

$$r = \frac{V_2}{V_1 + V_2}$$

или деля числитель на знаменатель на V_1 , имеем

$$r = \frac{V_2/V_1}{1 + V_2/V_1}$$

Подставляя в равенство вместо дроби V_2/V_1 , принятое обозначение n , получаем

$$r = \frac{n}{n + 1}$$

При обычном $n = 2$, получаем $r = \frac{2}{2 + 1} = 0,67$

Предельные колебания r от 0,67 до 1,00

Для практики можно принять ориентировочно

$$r = 0,77$$

в случае смешивания песка с гравием

$$\text{и } r = 0,80$$

при смешивании песка с щебнем, т. к. угловатость щебня препятствует уплотнению смеси.

Подставляя $r = 0,77$ и $0,80$, имеем:

для гравия

$$\left. \begin{aligned} \varphi &= \frac{\varphi_1 \alpha_1}{(\alpha_1 - 0,23) + n(\alpha_2 - 0,23)} \\ \text{для щебня} \quad \varphi &= \frac{\varphi_1 \alpha_1}{(\alpha_1 - 0,20) + n(\alpha_2 - 0,20)} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (VI')$$

Т. к. величина n , т. е. отношение объемов V_2 и V_1 входит в систему равенства $1 \cdot V$, то можно было бы зависимость

(VI') представить как функцию от φ_1 и φ_2 , но это излишне, т.к. зависимость (VI') вполне достаточна для работы. Задав-шись φ_2 , подбираем φ_1 так, чтобы получить удовлетвори-тельное φ в зависимости от назначения сооружения (про-мышленное, гидротехническое и т. д.), а затем изме-ряем консистенцию бетонной массы. Работа и в этом случае может быть выполнена за один прием.

Покажем на примере, что φ_1 и φ_2 сами по себе не дают гарантии достаточной плотности бетона.

Пример:

Песок и щебень имеют пустотность 40%

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 0,40$$

Отношение объема щебня к песку принято обычное, равное 2.

$$n = \frac{V_2}{V_1} = 2$$

Коэффициенты заполнения пустот в песке и щебне приняты равные

$$\varphi_1 = \varphi_2 = 1,2$$

Согласно зависимости VI' имеем

$$\varphi = \frac{1,2 \times 0,4}{(0,40 - 0,20) + 2(0,4 - 0,20)} = 0,8$$

Коэффициент заполнения пустот в отощателе меньше единицы, т. е. неудовлетворителен, хотя заполнения пустот в песке и щебне порознь достаточны.

Если при проектировании состава бетона не используется зависимость VI', то приходится компенсировать неуверенность повышением коэффициентов заполнения пустот в песке и камневидной порознь

Приведенные соображения указывают, что подразделе-ние отощателя на песок и отощатель целесообразно лишь с точки зрения упрощения проектирования состава бетона. В ответственных случаях проектированию состава бетона должно предшествовать изучение отощателя.

Цементное тесто и отошатель

Перейдем к углубленному анализу явлений, происходящих в бетоне для получения более ясной картины взаимодействия ингредиентов его, что даст нам свободу маневрирования и позволит увереннее проектировать состав бетона, останавливаясь на более или менее сложных методах, в зависимости от назначения сооружения и обстановки работы.

Четыре ингредиента бетона: цемент, вода, песок и камневидная целесообразно объединить в два слагающих — цементное тесто и отошатель. Ранее мы отметили двойную взаимную связь между тестом и отошателем — тесто уплотняется пылевидной частью отошателя, а уплотненное тесто в свою очередь заполняет пустоты в отошателе, раздвигает зерна, смазывая поверхность их. Расход цементного теста складывается из объема идущего на заполнение пустот и объема, потребного на смазку отошателя. Если мы обозначим пустотность отошателя через α , а поверхность его через F , то объем цементного теста t , определится из равенства

$$t = V\alpha + \delta F \dots \dots \dots (A)$$

где δ толщина смазки поверхности.

Формула (A) показывает, что расход цементного теста зависит от пустотности отошателя и поверхности его. Поверхность играет тем большую роль, чем больше толщина смазки. Таким образом, при изучении отошателя, нас интересуют две величины — пустотность и величина поверхности. Способ определения пустотности и поверхности песка и камневидной даны нами ранее. При данном песке и камневидной, обе величины будут зависеть от одной переменной отношения объема камневидной к объему песка в смеси. Это отношение мы называли фактором отошателя и обозначили буквой n .

Зависимость коэф- Мы отметили, что от аргумента n
фициента уменьше- зависит весьма важная физическая ве-
ния объема γ и пус- личина коэффицент уменьшения объема
тотности α от фак- при смешивании, обозначенный буквой γ .

тора отошателя Величина γ находится путем определения
объемного веса смеси Δ при разных значениях n .

Обозначая объемные веса песка и камневидной Δ_1 и Δ_2 и имея в виду, что вес смеси равен сумме весов составляющих, получим:

$$V \Delta = r (V_1 + V_2) \Delta = V_1 \Delta_1 + V_2 \Delta_2$$

откуда

$$r = \frac{V_1 \Delta_1 + V_2 \Delta_2}{\Delta (V_1 + V_2)} = \frac{\Delta_1 + \frac{V_2}{V_1} \Delta_2}{\Delta (1 + \frac{V_2}{V_1})}$$

или

$$r = \frac{\Delta_1 + n \Delta_2}{(1 + n) \Delta} \dots \dots \dots (B)$$

По формуле (B) мы строим кривую r в зависимости от n путем определения объемного веса смеси при разных n .

Имея кривую r , мы вычисляем при помощи формулы (с) кривую α в зависимости от n .

Зависимость поверхности от фактора отощателя Мы доказали, что пустотность α является функцией фактора отощателя. Покажем, что и удельная поверхность является функцией этого же аргумента. Поверхность отощателя равна сумме поверхностей песка и камневидной

$$F = F_1 + F_2$$

Согласно данного нами ранее определения удельной поверхности

$$F = V (1 - \alpha) U, F_1 = V_1 (1 - \alpha_1) U_1 \text{ и}$$

$$F_2 = V_2 (1 - \alpha_2) U_2$$

Откуда

$$U V (1 - \alpha) = U_1 V_1 (1 - \alpha_1) + U_2 V_2 (1 - \alpha_2)$$

или

$$U = \frac{U_1 (1 - \alpha_1) + U_2 (1 - \alpha_2) \frac{V_2}{V_1}}{V_2 V_1 (1 - \alpha)}$$

После преобразования

$$U = \frac{U_1 (1 - \alpha_1) + n U_2 (1 - \alpha_2)}{(1 - \alpha_1) + n (1 - \alpha_2)} \dots \dots \dots (C)$$

Удельная поверхность является функцией n и неизменно падает с ростом n .

При $n=0$ $u=u_1$ — удельная поверхность песка.

При $n=\infty$ $u=u_2$ — удельная поверхность камневидной.

Удельная поверхность песка много превышает удельную поверхность камневидной.

Кривая зависимости удельной поверхности от фактора отощателя не имеет минимума.

Кривая зависимости пустотности от фактора отощателя обладает минимумом при некотором значении $n=n_0$ (обычно лежит в пределах $n=1,5$ до $n=2$).

См. черт. 25, где схематически изображены кривая пустотности α и удельной поверхности u

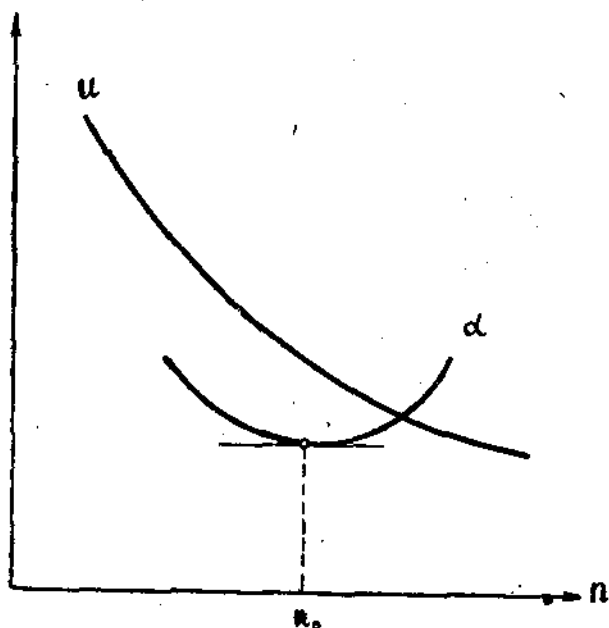


Рис. № 25. Схематическое изображение кривой пустотности и удельной поверхности в зависимости от фактора отощателя, кривая пустотности имеет кульминационную точку, кривая удельной поверхности непрерывно падает с ростом фактора отощателя.

При движении вправо от n_0 имеет место рост α и падение u , при движении влево растут и α и u . Это обстоятельство имеет большое значение и должно быть отмечено.

**Критический
фактор
отощателя**

Значение n соответствующее минимуму α назовем — критический фактор отощателя n_0 .

Мы показали, что при данном песке и камневидной пустотности отощателя и удельная поверхность его являются функциями фактора отощателя. При некотором критическом значении фактора отощателя кривая пустотности имеет минимум.

Кривая удельной поверхности минимумом не обладает и падает все время с ростом значения фактора отощателя. Увеличение фактора отощателя против критического значения его влечет за собой повышение пустотности при уменьшении удельной поверхности, при сдвиге влево от критического значения $n = n_0$ растут и пустотность и удельная поверхность.

Выявив эту важную зависимость вернемся к взаимодействию цементного теста и отощателя.

Мы несколько раз указывали, что тесто заполняет пустоты отощателя, раздвигает частицы его и образует смазывающие прослойки. Попытаемся дать количественное измерение происходящего явления. При проникновении цементного теста происходит сдвиг частиц отощателя. Передвижение частиц облегчается наличием смазывающего прослойка и должно вести к уплотнению отощателя, однако в запас расчета мы предполагаем, что частицы отощателя только раздвигаются, но не поворачиваются, т. е. масса отощателя остается геометрически подобной.

Первоначальный объем тела отощателя равен $V(1 - \alpha)$, после смазки поверхности его F слоем δ объем смазанного отощателя увеличится на объем смазки. Обозначая объем смазанного отощателя через V' имеем (см. рис. № 26)

$$V' = V(1 - \alpha) + F\delta$$

Коэффициент подобия равен в этом случае

$$\frac{V'}{V(1 - \alpha)} = \frac{V(1 - \alpha) + F\delta}{V(1 - \alpha)} = 1 + n\delta$$

В полученном объеме бетона $V(1 + n\delta)$ отощатель занимает объем $V(1 - \alpha)$, а цементное тесто равно по объему $V(1 + n\delta) - V(1 - \alpha) = V(\alpha + n\delta)$.

Нас интересует расход цементного теста на единицу объема бетона (t).

$$t = \frac{V(\alpha + u\delta)}{V(1 + u\delta)} = \frac{\alpha + u\delta}{1 + u\delta}$$

Формулу

$$t = \frac{\alpha + u\delta}{1 + u\delta} \dots \dots \dots (D)$$

можно получить и иным образом. В виду особого значения этой формулы дадим и другой вывод ее.

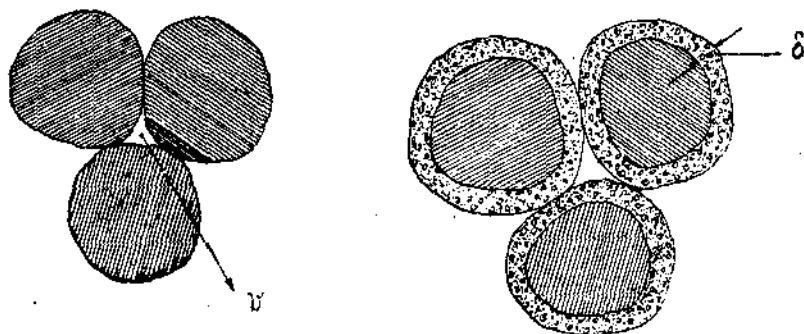


Рис № 26. Схематическое изображение зерен до и после смазки тестом.

Объем бетона равен объему смазанного тела отощателя увеличенному на объем раздвинутых пустот.

Объем раздвинутых пустот равен

$$\frac{V\alpha [V(1-\alpha) + F\delta]}{V(1-\alpha)}$$

Объем теста равен объему раздвинутых пустот, плюс объем смазки:

$$\begin{aligned} & \frac{\alpha}{1-\alpha} [V(1-\alpha) + F\delta] + F\delta = \\ & = V\alpha + F\delta \left[1 + \frac{\alpha}{1-\alpha} \right] = V\alpha + \frac{F\delta}{1-\alpha} = \\ & = V \left[\alpha + \frac{F}{V(1-\alpha)} \delta \right] = V(\alpha + u\delta) \end{aligned}$$

Выход бетона равен объему тела отощателя, увеличенному на объем цементного теста

$$V(1 - \alpha) + V[\alpha + u\delta] = V(1 + u\delta)$$

Расход теста на единицу объема бетона

$$t = \frac{V[\alpha + u\delta]}{V(1 + u\delta)} = \frac{\alpha + u\delta}{1 + u\delta}$$

Займемся анализом полученной формулы (D)

$$t = \frac{\alpha + u\delta}{1 + u\delta} = \alpha + (1 - \alpha) [(u\delta) - (u\delta)^2 + (u\delta)^3 - \dots]$$

Оптимальный фактор Т. к. $\alpha < 1$, то минимум t не совпадает с минимумом α .

отощателя Влияние второго члена равенства растет с ростом δ . Но мы указали, что чем прочнее и пластичнее должен быть бетон, тем больше следует принимать δ . Следовательно, чем прочнее и пластичнее требуется бетон, тем правее лежит оптимальное значение u от критического значения u_0 .

Иными словами с ростом требуемой прочности бетона и податливости замеса должна расти доля камневидной в составе бетона.

В случае $\delta = 0$ — $t = \alpha$ и минимум t совпадает с минимумом α . Оптимальное значение u совпадает с u_0 критическим. ($\delta = 0$ соответствует жесткому бетону).

Мы приходим к следующему положению: при жестких трамбованных бетонах, когда толщину смазки можно принять равной нулю, оптимальный состав отощателя соответствует тому составу, при котором плотность материала наибольшая ($u = u_0$), чем пластичнее и прочнее требуется бетон, тем больше должна быть доля камневидной в составе отощателя.

Минимум расхода цементного теста Пользуясь формулой (D) можно найти минимум расхода цементного теста в зависимости от заданной величины δ .

Каждой точке u соответствует свое значение α и u . Принимая в качестве параметра величину δ строим семей-

ство кривых t для разных δ . Каждая кривая t имеет свою кульминацию. Чем больше δ , тем правее располагается кульминация. При $\delta=0$ кульминация совпадает, как раньше было указано, с $n=n_0$.

Опыты показали, что кульминационные точки всего семейства кривых располагаются достаточно точно на одной прямой. Что касается величины δ , то она имеет вполне определенное физическое значение и величина ее определяется из следующих соображений. Представим объем пустот, заключающийся в отощателе развернутым по всей его поверхности, тогда мы получим толщину удельного прослойка воздуха.

Пользуясь нашими обозначениями, имеем:

$$\delta'' = \frac{V\alpha}{F} = \frac{V\alpha}{V(1-\alpha)\pi} = \frac{\alpha}{(1-\alpha)\pi}$$

где δ'' — удельная толщина воздушной прослойки.

При изготовлении бетона происходит раздвижка пустот отощателя и увеличение первоначального объема их, а, следовательно, меняется толщина удельной прослойки воздуха.

Мы называем редуцированной толщиной, воздушной прослойки (δ') величину, определяемую равенством.

$$\delta' = \delta'' (1 - \alpha) = \frac{\alpha}{\pi} \quad \delta' = \frac{\alpha}{\pi} \dots \dots \dots (E)$$

Действительная величина δ должна составлять долю δ' и тем большую, чем прочнее и пластичнее требуется бетон.

Для упрощения подбора δ строим при помощи кривых α и π кривую δ' , что не представляет никаких затруднений. Кривая δ' дает возможность рационального выбора δ .

Зависимость
 φ от δ .

Нам остается увязать величину δ с коэффициентом уплотнения бетона φ , т. к. эта важная физическая величина не должна

выпадать из нашего поля зрения.

Пользуясь ранее данными обозначениями, имеем

$$\varphi = \frac{t}{V\alpha}$$

откуда

$$t = V\alpha\varphi$$

Объем бетона равен объему тела отощателя, увеличенному на объем цементного теста

$$V(1-\alpha) + t = V(1-\alpha) + V\alpha\varphi = V[1 + (\varphi - 1)]$$

Приравнявая выход объема бетона единице, имеем

$$V = \frac{1}{1 + (\varphi - 1)\alpha}$$

откуда

$$t = \frac{\alpha\varphi}{1 + (\varphi - 1)\alpha} \dots \dots \dots (F)$$

Приравнявая формулу (F) с основным равенством (D) имеем

$$t = \frac{\alpha\varphi}{1 + (\varphi - 1)\alpha} = \frac{\alpha + u\delta}{1 + u\delta}$$

Решая уравнение относительно φ имеем

$$\begin{aligned} \varphi\alpha[1 + u\delta] &= \varphi\alpha(\alpha + u\delta) - \alpha(\alpha + u\delta) + \alpha + u\delta \\ \varphi\alpha(1 - \alpha) &= (1 + \alpha)(\alpha + u\delta) \end{aligned}$$

$$\text{откуда } \varphi = \frac{\alpha + u\delta}{\alpha} = 1 + \frac{u\delta}{\alpha} = 1 + \frac{\delta}{\delta'}$$

$$\varphi = 1 + \frac{\delta}{\delta'} \dots \dots \dots (G)$$

Формула показывает, что коэффициент уплотнения бетона есть функция δ и δ' , но так как δ' в свою очередь зависит исключительно от u , то α является функцией u и δ . Меняя δ как параметр, мы получаем семейство кривых φ . В этом семействе нас интересуют точки соответствующие минимуму кривых t , которые располагаются на одной прямой. Соответствующие точки семейства φ в свою очередь тоже ложатся на одной прямой.

Результат анализа В результате нашего анализа мы приходим к следующим положениям:

При заданном отощателе расход цементного теста является функцией фактора отощателя n и толщины смазки δ

Расход цементного теста выражается равенством:

$$t = \frac{\alpha + n\delta}{1 + n\delta}$$

Коэффициент уплотнения бетона φ является функцией тех же переменных и выражается равенством:

$$\varphi = 1 + \frac{\delta}{\delta'}$$

Минимум кривых t ложится на одной прямой, точки φ соответствующие кульминациям кривых t тоже лежат на одной прямой.

Толщина смазки δ выражается через приведенную удельную толщину воздушного прослойка δ' , определяемую равенством

$$\delta' = \frac{\alpha}{n}$$

При $\delta = 0$ минимум t совпадает с минимумом кривой α , который соответствует критическому фактору отощателя; чем прочнее и пластичнее требуется бетон (чем больше δ) тем правее лежат оптимальные значения n .

Подробный пример подсчета и построения кривых t и φ дан в главе 4-й отдела 2-го. Здесь мы остановимся на кратком описании работ экспериментальной и подсчетной.

Схема прямого проектирования Экспериментальная часть: полученный песок и камневидная изучаются по инструкции с определением пустотности α_1 и α_2 , объемных весов Δ_1 и Δ_2 и кривых просева. Далее производится смешение отощателя в разных объемных пропорциях n ¹⁾ и определяется объемный вес смеси, для чего

¹⁾ Вместо объемных берутся весовые пропорции, соответствующие объемным весам

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{n \Delta_1}{\Delta_2}$$

тщательно смешанный отошатель уплотняется в формах определенного объема ($20 \times 20 \times 20$ см. или $30 \times 30 \times 30$ см.) и формы взвешиваются до и после заполнения отошателем. Данные эксперимента в виде таблицы передаются подсчетчику.

На основании полученных данных подсчетчик производит следующие операции:

Строит удельные поверхности π_1 и π_2

По формуле $\tau = \frac{\Delta_1 + \pi \Delta_2}{(1 + \pi) \Delta}$ определяется кривая уменьшения объема

По формуле $\alpha = 1 - \frac{(1 - \alpha_1) + \pi(1 - \alpha_2)}{\tau(1 + \pi)}$ определяется кривая пустотности

По формуле $\pi = \frac{\pi_1(1 - \alpha_1) + \pi_2(1 - \alpha_2)}{(1 - \alpha_1) + \pi(1 - \alpha_2)}$

определяется кривая удельной поверхности

По формуле $\delta' = \frac{\alpha}{\pi}$ определяется кривая редуцированной воздушной прослойки.

По формуле $t = \frac{\alpha + \pi \delta}{1 + \pi \delta}$ кривые расхода цементного теста в зависимости от δ .

По формуле $\varphi = 1 + \frac{\delta}{\delta'}$ определ. кривые уплотнения бетона в зависимости от δ .

Т. к. при $\delta = 0$, $\varphi = 1$, $t = \alpha$ и кульминационная точка соответствует π (критическому), то начало линии минимумов t и соответствующей линии φ определяется непосредственно. Для упрощения работы можно искомые линии заменить двумя прямыми, для чего остается определить по одной только точке каждой прямой. С этой целью задаются δ достаточно большим (например $\delta = 0,88'$) и определяют положение кульминации соответствующей кривой t .

(Например $t_{\min} = \frac{\alpha + \pi \delta}{1 + \pi \delta}$ при $\delta = 0,88'$). Найденная точка

имеет вполне определенную абсциссу π и ординату t .

Прямая, соединяющая эту точку с началом может быть принята за линию минимумов t .

Для построения соответствующей линии φ определяем значение φ по принятому δ (например $\varphi = 1 + \frac{\delta}{\delta'} = 1,8$).

Найденная точка φ имеет свою абсциссу n и ординату φ . Прямая соединяющая эту точку с началом может быть принята за линию φ . Для контроля правильности замены линий φ и t прямыми проверяем положение промежуточной точки хотя бы для $\delta = 0,4 \delta'$. Отыскание минимума кривой t (при $\delta = 0,4 \delta'$) не представляет труда, т. к. приблизительное положение минимума известно. Если после проведения подсчетов выяснится, что положение точек φ и t незначительно отклоняется от прямых, φ и t , то таковые могут быть и приняты для дальнейших выкладок*).

Имея прямые t и φ проектируем состав бетона следующим образом: задаваясь δ через δ' определяем φ . По ординате φ прямой φ — находим абсциссу n . Зная абсциссу n ищем на прямой t ординату t . Таким образом, мы определили: коэффициент уплотнения бетона φ , фактор отошателя n и расход цементного теста t . Зная расход цементного теста, определяем объем тела отошателя, который совместно с тестом дает единицу объема бетона, следовательно

$$V(1 - a) = 1 - t$$

Ранее мы показали, что

$$V(1 - a) = V_1(1 - a_1) + V_2(1 - a_2) = V_2[(1 - a) + n(1 - a_2)]$$

Расход песка определяется из равенства

$$V(1 - a) = V_1[(1 - a_1) + n(1 - a_2)] = 1 - t$$

$$V_1 = \frac{1 - t}{(1 - a_1) + n(1 - a_2)} \dots \dots \dots (16)$$

Расход камневидной

$$V_2 = n V_1 = \frac{n(1 - t)}{(1 - a) + n(1 - a_2)} \dots \dots \dots (17)$$

*) Описание работы и примеры даны в главе 4-й отдела 2-го „Проектирование бетона отделки напорного туннеля АцГЭС“а.

По ранее найденному объему цементного теста определяется расход цемента и воды по известным формулам:

$$Z = \frac{t, \kappa}{\kappa + 3} \dots \dots \dots (18)$$

$$W = \frac{t + 3}{\kappa + 3} \dots \dots \dots (19)$$

Имея состав бетона, переходим к проверке консистенции путем изготовления пробного замеса.

Для облегчения выкладок составлена номограмма инж. В. В. Михайловым (см. в главе 3-й отдела 2-го).

Описанный метод можно упростить, используя доказанное положение, что оптимальный фактор отощателя тем более отодвигается вправо от критического, чем прочнее и пластичнее требуется бетон.

и оптимальное определяется попытками, после того как выяснено значение n_0 критического.

Задаваясь φ подыскиваем состав бетона для трех значений $n > n_0$ и строим по трем точкам кривую расхода цементного теста. Имея кривую t определяем значение n соответствующее минимуму t .

Остановившись на этом значении вновь подсчитываем состав бетона и готовим пробный замес для проверки консистенции.

В этом случае работа сводится к следующим операциям:

Экспериментальная часть — изучение отощателя и определение α_1 , α_2 и Δ_1 , Δ_2 . Определение объемного веса смеси при разных n (обычно $n = 1,6 - 1,8 - 2,0 - 2,2 - 2,4$)

Подсчет γ по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta_1 + n \Delta_2}{1 + n \Delta}$$

Подсчет α по формуле

$$\alpha = 1 - \frac{(1-\alpha_1) + n(1-\alpha_2)}{r(1+n)}$$

и построение кривой α .

По кривой α находятся n_0 критическое.

Подсчет замеса для трех $n > n_0$ критич.

Подсчет замеса проводится по формулам:

$$t = \frac{\alpha \varphi}{1 + (\varphi - 1) \alpha}$$

а далее по формулам 16—19.

Построение кривой t и отыскание n опт.

Подсчет замеса при n опт.

Проверка консистенции бетонной массы.

Отдел второй

Во втором отделе мы даем памятку бетонщика и четыре метода проектирования состава бетона, построенные на выводах предыдущего отдела.

Опыт полевых лабораторий показал, что сочувственное и сознательное отношение бетонщиков весьма облегчает работу, повышает ее эффективность.

Памятка бетонщика популяризирует идеи проектирования состава бетона и должна быть проработана на одном из первых производственных совещаний. Непосредственно с памяткой увязан полевой метод прямого проектирования состава бетона, доступный технике средней квалификации и требующий для своего выполнения простейших приспособлений. Далее идет: 1) упрощенный прямой метод, 2) прямой метод и 3) последовательное проектирование состава бетона.

ГЛАВА ПЕРВАЯ

Памятка бетонщика

РАЗДЕЛ ПЕРВЫЙ.

Бетон—это смесь песка, гравия (щебня), цемента и воды. При изготовлении эта смесь имеет вид каши. Смесь может быть совсем жидкая как сметана и тогда бетонную массу можно наливать в форму, поэтому такой бетон называют литым; если смесь сделать гуще, но достаточно мягкой, так, чтобы при укладке в форму нужно было только проталкивать бетон железной палкой (штыковать), то такой бетон называют пластичным;

наконец, замес можно сделать почти совсем сухим, таким как влажная земля, тогда при кладке бетона требуется трамбование - такой бетон называют жестким или трамбованным.

Густоту бетонной каши называют „консистенцией“ бетона. Говоря техническим языком, можно сказать: „в зависимости от консистенции бетон делится на три группы: литой, пластичный и трамбованный“

Когда мы делаем бетон, нас интересует не бетонная каша, а тот твердый камень, который получается из замеса, после того как он сгустится и затвердеет.

Для того, чтобы узнать, что делается с бетоном когда он долго стоит и почему он твердеет, можно сделать очень простой и интересный опыт.

Возьмите чашку, положите в нее кусочек твердого бетона и залейте его крепкой соляной кислотой. Бетон сейчас же зашипит и скоро распадется. Когда он кончит шипеть, слейте кислоту и вымойте водой чашку. Вы увидите, что в чашке останутся песок и гравий такой же какой пошел на изготовление бетона, а цемент растворился в кислоте. При твердении бетона, песку и гравия ничего не делается — они остаются без изменения. Твердость бетону придает цементное тесто (смесь цемента с водой) которое сначала густеет, а потом твердеет. Цементное тесто и есть тот клей, который скрепляет песок и гравий в один целый камень.

Сделайте еще один простой опыт:

Возьмите немного цемента и смешайте его с водой, пока не получите кашницу, затем вылейте кашницу в блюдо или на кусок стекла в виде лепе-

шки (на доску выливать лепешку нельзя, так как дерево отсосет из лепешки воду). Поставьте лепешку в сырое затемненное место. Если вы минут через десять проведете ногтем по лепешке, то след от ногтя сейчас же закроется, а через час или два ноготь оставит след. Это значит, что цемент начинает схватываться. Часов через десять вы уже не сможете поцарапать лепешки ногтем, это значит, что цемент схватился и начал твердеть.

Цементное тесто твердеет в цементный камень, который становится очень крепким, но все же гравий и песок крепче чем цементный камень. Гравий труднее раздавить, чем кусок цементного камня такой-же величины, Если мы будем испытывать крепость бетонного кубика или балочки, то сломается сначала не гравий и песок, а цементный камень. Цементный камень—это самая слабая часть в бетоне, а поэтому крепость бетона зависит от крепости цементного камня, который склеивает бетон в одно целое. Мы говорим о крепости камня, но так как это очень важное свойство, то нужно вопрос уточнить. Возьмем маленький кубик и большой и раздавим их. Пусть маленький кубик раздавится при грузе 10 тонн, а большой—при грузе 5 тонн, ясно, что материал маленького кубика крепче чем материал большого. А что будет, если маленький кубик раздавится при 5 тонн., а большой при 10 тонн. Можно-ли сказать, что материал большого кубика крепче материала маленького кубика. Ясное дело нет, т. к. имеет значение не только величина силы раздавливающей кубик, но и величина самого кубика.

Для того чтобы можно было сравнивать крепость материала и при разных величинах кубиков, нужно брать не самую раздавливающую силу, а силу, приходящуюся на кубики равной величины. Силу, приходящуюся на единицу площади называют напряжением.

Пример: На кубик величиной $20 \times 20 \times 20$ сантиметров приходится давление в 4000 килограмм, чему равно напряжение? Площадь стороны кубика 20×20 сантиметров равна 400 квадратных сантиметров

На эту площадь в 400 квадратных сантиметров приходится давление в 4000 килограмм; следовательно, на каждый квадратный сантиметр приходится давление $4000:400 = 10$ килограмм на квадратный сантиметр,

Еще один пример — кубик $30 \times 30 \times 30$ сантиметров выдержал давление 90000 килограмм, а кубик $20 \times 20 \times 20$ сантиметров выдержал давление 60000 килограмм. Материал какого кубика прочнее?

Площадь стороны большого кубика: $30 \times 30 = 900$ квадратных сантиметров.

Прочность материала большого кубика

$$\frac{90000}{900} = 100 \text{ килограмм на квадратный сантиметр.}$$

Площадь стороны малого кубика $20 \times 20 = 400$ квадратных сантиметра.

Прочность материала малого кубика

$$\frac{60000}{400} = 150 \text{ килограмм на квадратный сантиметр,}$$

Прочность материала малого кубика больше, чем прочность материала большого кубика, хотя большой кубик выдержал большее давление.

Прочность материала — это напряжение, при котором материал ломается.

Пользуясь новым обозначением — прочность, мы можем сказать:

„Прочность бетона зависит от прочности цементного камня из которого бетон сделан.“

Цементный камень образуется из цементного теста и склеивает бетон в один кусок. Цементное тесто работает как клей. Кто варил клей знает, что в клей нужно дать определенную порцию воды; если же добавлять лишнюю воду, то клей становится слабее. То же самое происходит и в цементном тесте. Чем больше мы прибавляем воды к цементу, тем жиже становится цементный клей и тем слабее становится цементный камень. Каждой пропорции цемента и воды в тесте соответствует своя прочность цементного камня. При добавлении воды прочность цементного камня падает, следовательно, падает и прочность бетона. Если нам нужно получить бетон заданной прочности, то и цементный камень должен иметь эту прочность. Но для того, чтобы цементный камень имел заданную прочность, нужно, чтобы пропорция цемента и воды в цементном тесте была определенная. Всякое добавление воды против этой пропорции уменьшает прочность цементного камня, а следовательно, вредит бетону. Нужно твердо помнить, что добавлять воду в бетон больше, чем это задано — нельзя, так как это принесет прямой вред бетону.

Например, Новороссийский цемент, если его взять в пропорции с водой один к одному — даст

цементный камень с прочностью в 100 килограмм на квадратный сантиметр в возрасте 28 дней.

Если же мы возьмем воды вдвое больше чем надо, то прочность его станет вдвое меньше, т. е. лишь 50 килограмм на квадратный сантиметр.

Бетон, который мы готовим на этом цементном тесте будет вдвое слабее.

Пропорция цемента и воды в тесте, т. е. отношение веса цемента к весу воды называется цементно-водный фактор. Пользуясь этим определением можно сказать;

„Прочность бетона зависит от прочности цементного камня. Прочность цементного камня определяется по цементно-водному фактору цементного теста.“

РАЗДЕЛ ВТОРОЙ

В разделе первом мы узнали, что такое консистенция бетонной массы, что такое прочность бетона и как прочность бетона зависит от прочности цементного камня, которая в свою очередь определена по цементно - водному фактору цементного теста.

Для того, чтобы перейти к дальнейшему — нам нужно выяснить, от чего зависит консистенция бетонного замеса.

Представьте на один момент, что из замеса пропало цементное тесто, тогда у нас вместо бетонной массы останется кучка песка и гравия, о консис-

*) Цементный клей в отличие от других клеев крепнет медленно. Обычно принимается в расчет его прочность в возрасте 28 дней, но на самом деле его прочность и дальше растет.

тенции которой и говорить не приходится. Попробуем добавить к этой куче воды; вода из кучи вытечет и останется куча мокрого песка и гравия — опять-таки консистенция не улучшится.

Если же мы к куче сухого песка и гравия добавим еще сухого цемента, то и из этого тоже ничего не выйдет. Мы убедились, что лишь совместным добавлением цемента и воды, т. е. цементного теста можно из кучи песка и гравия, получить кашу большей или меньшей густоты. Наши рассуждения показывают, что консистенция бетонного замеса зависит от цементного теста. Чем больше мы добавим цементного теста к песку и гравия, тем жиже будет бетонный замес. Каким же образом цементное тесто сообщает бетонной массе подвижность?

Цементное тесто проникает во все пустоты в песке и гравии, заполняет эти пустоты и раздвигает частицы, смазывая их. Смазанный песок и гравий начинают легко скользить друг по другу и весь замес приобретает подвижность.

Чем больше мы вводим цементного теста в замес, тем больше его остается на смазку частиц и тем лучше они скользят. Мы видим, что чем большая подвижность требуется от замеса, тем больше пойдет теста на замес.

Можно было бы увеличить подвижность замеса, добавляя к замесу не только тесто, но и воду, если бы мы не знали, что добавление излишней воды понижает цементно-водный фактор, а следовательно ослабляет цементный камень и бетон.

Но так как мы твердо знаем, что менять цементно-водный фактор нельзя, то будем добавлять не воду, а исключительно цементное тесто. Добавляя-

же в замес цементное тесто мы увеличиваем расход цемента на кубометр бетона, что невыгодно.

Поэтому нужно принимать консистенцию бетонной массы такую, какая действительно требуется, а не гнаться за облегчением укладки путем повышения подвижности замеса. Нужно экономить рабочую силу, но экономить не за счет лишнего расходования цемента. Раз мы убедились в важности выбора и назначения консистенции бетонной массы, то сейчас же возникает вопрос, как мерить консистенцию.

Полагаться в этом важном вопросе на личную оценку нельзя: один бетонщик будет утверждать что замес изготовлен для трамбованного бетона, а другому покажется, что этот замес идет на изготовление пластичного бетона.

Возьмем другой пример—двое спорят о длине доски—один утверждает, что доска длинная, а другой, что короткая. Оба дают „суб'ективную“ оценку длины доски. Для того, чтобы найти действительную длину доски, нужно ее смерить метром—это будет „об'ективное“ измерение.

В вопросе измерения консистенции нужно отказаться от суб'ективных оценок и перейти к об'ективному измерению.

Для измерения консистенции существует ряд приспособлений. Описаний приборов мы здесь не даем, но советуем на ближайшем производственном совещании потребовать от прораба показать прибор для измерения консистенции, разобраться в приборе и самостоятельно произвести измерения¹⁾.

¹⁾ Описание столика Скрамтаева смотри во второй главе.

Когда же применяется та или иная консистенция? Литая консистенция применяется при изготовлении узких и высоких железобетонных конструкций, при железобетонных конструкциях сложной формы, кроме того, при механизированной работе с помощью разводящих башен, если не требуется большой прочности бетона (например теплый бетон).

Пластичная консистенция применяется почти во всех железо-бетонных конструкциях или массивных конструкциях, требующих большой плотности (плотина Днепростроя).

Трамбованная консистенция — везде, где это позволяют условия производства бетонных работ.

РАЗДЕЛ ТРЕТИЙ.

Проектирование бетона. Вы знаете, что до приступа к постройке изготавливается проект, т. е. тщательно обдумывается и подсчитывается, как строить. Теперь, когда производится огромное количество бетонных работ, необходимо тщательно обдумать и подсчитать, как изготовлять бетон. Где и откуда брать сырье? В какой пропорции смешивать песок, гравий цемент и воду для разных частей бетонного сооружения в зависимости от работы сооружения и возможности бетонировки его. Иными словами нужно проектировать состав бетона.

Что же для этого требуется:

Во-первых изучить сырье — карьеры песка и гравия или щебня.

Во-вторых — знать цементы, которыми будет располагать строительство.

В третьих — использовать возможную механизацию.

В четвертых — дать составы бетона для разных прочностей и консистенций, которые встретятся при выполнении работы.

В пятых — наладить контроль за проведением бетонных работ, так как самый лучший проект ничего не стоит, если его не выполнять на работе.

Мы разберемся в самом сложном вопросе, как давать составы бетона требуемой прочности и консистенции.

Мы уже знаем, что при твердении бетона песок и гравий не меняются, изменяется лишь цементное тесто, которое густеет, а затем твердеет. Если бы не жалеть цемента, то бетон можно было бы готовить на чистом цементе и воде, но такой бетон был бы не долговечен, так как он трескался бы, как лопается жирная штукатурка.

Песок и гравий вводятся для того, чтобы улучшить качество бетона и понизить расход цемента, для того, чтобы понизить „жирность“ состава. Так как песок и гравий понижают жирность состава, то их называют „отощателем“. Смесь песка и гравия называют коротко отощатель, а смесь цемента с водой цементное тесто.

Пользуясь этими новыми обозначениями, можно сказать, что мягкий, свежий бетон представляет собой отощатель, заполненный и смазанный тестом, а бетон — это отощатель скрепленный цементным камнем.

По требуемой прочности бетона и в зависимости от качества цемента определяется цементно-водный фактор теста. Иными словами по прочности бетона определяется качество цементного теста.

В зависимости от требуемой консистенции бетонной массы, имеющегося отощателя и качества цементного теста, заданного прочностью бетона, определяется количество цементного теста.

Иными словами, консистенция бетонной массы и качество отощателя определяют количество цементного теста. Наша задача сводится к возможному уменьшению количества цементного теста. Так как прочность бетона и консистенция бетонной массы заданы, то нам остается подобрать состав отощателя так, чтобы добиться требуемой консистенции при самом малом расходе теста.

На постройке имеется обычно песок и гравий (щебень). Меняя пропорцию песка и щебня в смеси, мы меняем качество отощателя. В лаборатории продельвается эта работа до тех пор пока не выяснится, при какой пропорции песка и гравия можно добиться требуемых результатов при наименьшем расходе цемента. На основании этих работ выясняется состав бетона, т. е. количества песка, гравия, цемента и воды, которые нужно положить в замес, чтобы получить 1 кубический метр бетона.

Дело каждого сознательного бетонщика следить за неуклонным выполнением состава. Если консистенция бетона не удовлетворяет его, то он не должен ни в коем случае добавлять самовольно воду так как от этого портится бетон. С другой стороны он не должен замалчивать о своем недовольстве бетоном, потому что, если консистенция неудовлетворительна, то бетон ляжет плохо, в нем образуются пустоты и неплотности.

Все это понизит прочность бетона и может повлечь за собой скорый износ сооружения от мороза,

действия вредных газов и кислот, так как единственная гарантия от мороза и этих вредных действий является плотность бетона.

Сознательный бетонщик должен не только следить за выполнением состава, но и извещать прораба о всяких возникающих у него сомнениях.

У бетоньерки вывешивается не состав бетона на кубометр, а состав на один замес.

Вы верно обратили внимание, что гравий, песок и вода назначаются по об'ему, а цемент по весу. Дело в том, что назначать цемент по об'ему не следует, так как вес цемента меняется от взрыхленности его и мы можем получить совершенно разные расходы цемента при одинаковом об'еме его. Колебания расхода цемента будут менять цементно-водный фактор теста, что скажется на прочности бетона.

ГЛАВА ВТОРАЯ

Полевой метод прямого проектирования

Сущность проектирования состава бетона пояснена в „памятке“, теперь посмотрим, что нам нужно делать, чтобы самим запроектировать состав бетона. Работа наша начинается с изучения материалов: отошателя, воды и цемента.

Изучение отошателя.

Песок для изготовления бетона должен быть чистый, не содержащий примесей способных гнить. Чтобы определить эти вредные гниющие (органические) примеси поступают следующим образом: отбирают пробу песка и засыпают ее в стакан на 5 сантиметров по высоте, затем заливают песок 3% раствором каустической соды на высоту до 8 сантиметр.*) (Соду нужно купить в аптеке и держать ее в чистой бутылке заткнутой хорошей пробкой).

*) Для удобства отчета приклеивается к стакану бумажка с нанесенными делениями через сантиметр.

Жидкость хорошо взбалтывается и, если от осадки песка уровень понизится, то добавляется еще сода до высоты 8 см. и стакан прикрывается крышкой, чтобы в него ничего не попало. Через сутки смотрят на цвет жидкости. Если в песке есть органические примеси, то они обугливаются каустической содой и жидкость темнеет; чем темнее жидкость, тем больше примесей в песке и тем этот песок хуже. В зависимости от степени окраски судят о качестве песка.

Если окраска прозрачная или светло-желтая, то песок вполне годен; если окраска от светло-желтой, до светло-коричневой, то песок еще годен, но если окраска темная, то песок не годен для работы.

Для того, чтобы набить себе руку, можно сделать следующий опыт. Взять заведомо чистый песок или предварительно прокаленный и испытать его. Взять этот же песок и добавив к нему навоза для загрязнения органическими примесями испытать его.

Сравните окраску жидкости в первом и во втором случае. Это поможет вам разобраться в дальнейших испытаниях.

Если соды под рукой нет, то органические примеси проверяются прокаливанием. Делается это так: из высушенного песка отбирается 1 килограмм и прокаливается на железном листе или в миске. После прокалики, когда органическое вещество перегорело, песок взвешивается вновь и по убыли в весе определяется содержание органических веществ.

Помимо органических примесей важно определить количество илистых или глинистых веществ.

Для этого проба песка весом 150 грамм насыпается в приспособленный нами стакан и заливается водой.

Песок с водой взбалтывается, а затем оставляется на сутки. Глина и ил откладываются на верху песка. Чем толще слой ила и глины, тем хуже песок. Если ил липкий и пристает к песку, то он очень вреден, так как не дает цементу приклеится к песку. Чтобы проверить липкость примесей к песку, нужно отделить от песка илистую часть и вылить ее в плоское блюдо. Когда грязь в блюде высохнет, то посмотреть, как она выглядит: если грязь высохла и лопнула ров

ными трещинами, то это еще не так страшно, если же корочки задрались кверху, то это плохой признак и песок нельзя пускать в дело без тщательной промывки.

С гравием дело обстоит проще. Гравий легко моется, поэтому следует пускать его в работу хорошо промыв. Нужно только следить за тем, чтобы гравий был прочный и не содер­жал выветрившихся ломких частиц.

Если гравий идет на обыкновенный бетон в толстых сооружениях, то можно пускать в дело гравий крупный. Если же он идет в железобетон, то его сеют через грохот сантиметра в 4. Песок обыкновенно берется по крупнее (если есть выбор). Если песок очень мелкий, как штукатурный, то лучше его не брать.

Он требует большего расхода цемента.

Может стать выгоднее возить песок со стороны. Прежде чем решиться возить песок со стороны, нужно посоветоваться с ближайшей бетонной лабораторией.

Когда вы остановитесь на песке и гравии, то следует заняться вопросом о составе отошателя, т. е. выяснить в какой пропорции выгодно пускать песок и гравий в бетон.

Мы знаем, что цементное тесто должно заполнить пустоты отошателя. Сперва отыщем такую пропорцию песка и гравия, при которой пустот в смеси (отошателе) будет наименьшее количество. Пустоты—это промежутки между зернами песка и гравия, заполненные воздухом. Если бы мы могли выгнать воздух из отошателя и заполнить его место водой, то по расходу воды нашли бы об'ем пустот. Проще всего было бы залить отошатель водой, но способ этот не годится, т. к. воздух пристает к песку так прочно, что целиком его выгнать нельзя. Нужно поступать по иному: не воду лить в отошатель, а отошатель засыпать в воду. В этом случае песок падая на дно, хорошо оmyвается водой и отдает воздух воде, откуда он выступает пузырьками наверх.

Работа эта проводится следующим образом:

Допустим мы хотим проверить об'ем пустот в отошателе, когда смесь составлена в пропорции 2 к одному, т. е. два об'ема гравия к одному об'ему песка.

Высыпают на брезент или чистый пол два ведра гравия, а затем одно ведро песка и хорошо их перелопачивают. Из полученной смеси заполняют деревянную форму размером $20 \times 20 \times 20$ сантиметров. (Остаток сохраняют до конца работы)

В такую форму вмещается как-раз восемь литров. Форму взвешивают с отощателем.

Когда форма взвешена, то содержание ее высыпают в большое ведро, куда налито литров 6 воды. Отощатель ссыпают тихо, помешивая при этом воду. Когда весь отощатель всыпан в воду, то ведро доливается до верха и взвешивается с водой и отощателем.

Чтобы избежать лишние взвешивания, нужно один раз точно взвесить ведро пустое и полное и написать на ведре его объем и вес, например — 2,5 килограмма и 13 литров.

Так как литр воды весит килограмм, то по разности весов пустого и полного водой ведра можно определить объем его. Например, вес ведра с водой — 15,5 килограмм, следовательно вес воды в ведре 13 килограмм — объем ведра — 13 литр.

Покажем на примере, как найти объем пустот отощателя.

Пусть вес полной формы равен 14 килограмм.

Пусть вес ведра с водой и отощателем равен 21,2 кг

Вес формы 2 килограмма, а вес ведра 2,5 кг.

Вес отощателя равен $14 - 2 = 12$ килограмм.

Вес воды в ведре с отощателем $21,2 - 12 - 2,5 = 6,7$ кг.

В ведре, когда в него засыпали отощатель, поместилось воды 6,7 литров. Остальной объем занял отощатель.

Чему равен действительный объем отощателя? Он равен объему ведра за вычетом влитой воды. Следовательно он равен $13 - 6,7 = 6,3$ литра.

Значит в форме в 8 литров отощатель без пустот занимает 6,3 литра, а пустоты занимают $8 - 6,3 = 1,7$ литра. Мы видим, что на 8 литров отощателя приходятся 1,7 литра пустот.

Отсюда можно вычислить долю пустот в отощателе, она равна в нашем случае

$$\frac{1,7}{8} = 0,21 \text{ или } 21\%.$$

Попрактикуйтесь несколько раз и вы увидите, что арифметика несложная. Проведя операцию несколько раз при разном отношении объема гравия к песку в отощателе, вы найдете то отношение, при котором объем пустот самый малый, т.е. то отношение, при котором отощатель ложится плотнее всего.

Если бы нам нужно было, приготавливая бетон, только заполнить пустоты отощателя, то это отношение было бы самым выгодным, но на самом деле, мы должны не только заполнить пустоты, но и смазать поверхность зерен отощателя. Дело в том, что плотный отощатель получается при большом количестве песка, которое влезает в пустоты гравия, но песок будучи мелким по сравнению с гравием имеет большую поверхность, чем гравий. Это просто понять. Для наглядности возьмите гравинку и разбейте ее на куски. Объем кусков будет тот-же, что и гравинки, но поверхность кусков будет много больше чем целой гравинки. Помимо старой серой поверхности гравинки появятся новые темные. Чем мельче зерна, тем больше поверхность при равных объемах. Так как нам нужно не только заполнить пустоты, но и покрыть поверхность зерен, то бывает выгодно выкинуть часть песка, увеличить при этом содержание пустот в отощателе, но уменьшить поверхность, которую придется смазать. Сколько следует выбросить песка и когда остановиться—покажет опыт. Об этом мы скажем далее. Сейчас мы только запомним, что приготавливая смесь отощателя при разных отношениях объема гравия к песку и, проверяя плотность его, можно найти отношение гравия к песку, при котором отощатель ложится плотнее всего.

Это отношение объема гравия к песку называется критическим фактором отощателя.

Мы показали, что пустотность отощателя зависит от фактора отощателя и что при некотором критическом факторе отощателя пустотность наименьшая. Подбирать состав бетона нужно с критического фактора отощателя, идя в сторону увеличения его.

При работе с песком и гравием нужно брать материал, который пойдет на работу, но высушенный. Отмеривать материал без утряски рыхло насыпанный.

Для дальнейшей работы нам нужно будет знать, сколько весит литр песка, литр гравия и литр отощателя. Вес литра отощателя определяем, деля вес отощателя в форме на об'ем формы. В нашем примере отощатель в форме об'емом 8 литров весит 12 килограмм, следовательно вес литра отощателя равен $12 : 8 = 1,5$ килограмм. Вместо „вес литра в килограммах“, говорят коротко „об'емный вес.“

Мы можем сказать, что об'емный вес отощателя равен 1,5. Об'емные веса песка и гравия определяются при помощи взвешивания песка или гравия в форме или в ведре известного об'ема. Допустим, что форма песка весит 11,2, а форма гравия весит 10,4 килограмм. Тогда об'емный вес песка равен $11,2 : 8 = 1,4$, а гравия $10,4 : 8 = 1,3$.

При смешивании песка с гравием и набивке полученного отощателя в форму, об'ем уменьшается. Нам нужно будет знать, на сколько об'ем уменьшается. Покажем на примере, как это сделать.

В нашем примере мы смешали два ведра гравия с одним ведром песка. Смесь эта весит столько, сколько весит песок и гравий вместе.

Форма песка весит 11,2 кгр., а две формы гравия весят $10,4 \times 2 = 20,8$ кгр. Следовательно смесь весит $11,2 + 20,8 = 32,00$ килограмм. Всего мы насыпали три формы об'емом $3 \times 8 = 24$ литра. Если бы смесь не уменьшалась в об'еме, то ее об'емный все был бы равен $32 : 24 = 1,33$. На самом же деле об'емный вес отощателя оказался равным 1,5. Это указывает, что отощатель лег в форму плотнее и об'ем его при смешивании уменьшился.

Сможем-ли мы узнать, сколько нужно взять порознь песка и гравия, чтобы получить 100 литров отощателя. На это ответить не трудно. Сто литров отощателям весят $1,50 \times 100 = 150$ килограмм, а об'емный вес смеси до уплотнения равен 1,33 килограмма, следовательно на 150 килограмм пойдет.

$$150 : 1,33 = 112,5 \text{ литров.}$$

Число, показывающее сколько нужно взять литров песка и гравия порознь, чтобы получить 100 литров отошателя, делится на сто и называется коэффициентом у меньшения объема. В нашем случае этот коэффициент равен.

$$\frac{112,5}{100} = 1,125$$

Чтобы получить 112,5 литров смеси нужно будет взять $\frac{1}{3}$ песка и $\frac{2}{3}$ гравия. Следовательно, на 100 литров уплотненного отошателя пойдет песка 37,5 литров и гравия 75 литров.

Вода.

На изготовление бетона идет годная для питья вода. Если такой воды для бетона нет и до вас на имеющейся воде бетона не делали, то следует послать воду на анализ.

Цемент.

Так как от качества цемента в большой степени зависит качество бетона, то цементу следует уделить большое внимание при изучении его и хранении. Хранить цемент нужно в сухих проветриваемых помещениях; если же таких помещений к началу работы нет, то нужно укрывать цемент от дождя и сырости.

Цемент, прибывающий на работу, должен иметь паспорт, где сообщаются его качества. Но цемент может испортиться за время хранения и доставки на работу; кроме того, не всегда цемент снабжается паспортом. Все это требует внимательного осмотра цемента. Если цемент хорошо сохранился, то он не должен иметь корки, а должен быть мягким на ощупь. Наличие корки и твердых кусков говорит о плохом хранении и возможном понижении качества цемента. Основное качество цемента—это его прочность на сжатие в возрасте 28 дней в зависимости от цементно-водного фактора. Прочность обычного портланд-цемента в возрасте 28 дней, выраженная в килограммах на квадратный сантиметр, равна цементно-водному фактору, умноженному на 100; если цемент повышенного качества, то множить нужно на 150, а при пониженном качестве на 60.

Пример 1: цементный камень из портланд-цемента изготовлен на тесте, замешанном из 1,4 килограмм цемента и

одного литра (килограмм) воды. Чему равна прочность этого камня в возрасте 28 дней?

Ответ: Так как пропорция к воде в тесте равна $1,4:1=1,4$, то цементно-водный фактор равен 1,4. Ввиду того, что цемент обычного качества, то для получения прочности нужно цементно-водный фактор умножить на 100, следовательно искомая прочность равна $1,4 \times 100 = 140$ килограмм на квадратный сантиметр.

Пример 2. При изготовлении бетона взято цементное тесто из цемента повышенного качества с цементно-водным фактором равным 1,2. Какова будет прочность бетона в возрасте 28 дней.

Ответ: Так как прочность бетона равна обычно прочности цементного камня, то отсюда определим ожидаемую прочность камня. На тесто пошел цемент повышенного качества поэтому для определения прочности нужно цементно-водный фактор умножить на 150.

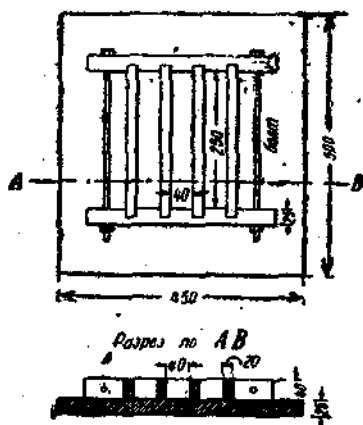
$1,2 \times 150 = 180$ килограмм на квадратный сантиметр.

Итак, прочность цементного камня, а следовательно и бетона равна—180 килограмм на квадратный сантиметр.

Прочность материала можно определить не только раздавливая кубик, но и при изгибе балочки, доводя ее до разрушения. Дело в том, что при изгибе балочки одна часть ее вытягивается, а другая сжимается. Возьмите свежий прут и согните его. Вы увидите, что с одной стороны кожаца натянулась, а с другой стороны сморщилась; — с одной стороны прут растягивается, а с другой сжимается. То же самое происходит и в балках, но не так наглядно. Имеются формулы, по которым можно посчитать прочность, если знать: пролет балочки (расстояние между опорами), размеры поперечного сечения, величину груза, который балочка выдержала и в каком месте на балочке находится груз. Ниже мы приводим инструкцию как делать испытание балочек. Нужно только помнить, что никакие отклонения недопустимы, т. к. в этом случае формулы станут неправильными.

Для выделки балочек изготавливаются 2 деревянных формочки без дна, по рис. № 27 при чем размеры соблюдаются строго; формочка проолифовывается. В формочках изго-

товляется 6 балочек из раствора данного цемента; размер балочек $25 \times 4 \times 4$ см.



сир. № 27. Форма для изготовления пробных балочек.

Берется состав цементного раствора 1 : 3 (на 1 весовую часть цемента 3 части песка по весу и $\frac{1}{2}$ части воды, тоже по весу). Для изготовления 6 штук балочек нужно взять:

Цемент а . . . 1,5 килгр.

Песка . . . 4,5 "

Воды . . . 0,75 " (или лит.)

Песок берется обязательно крупный и высушенный. Раствор хорошо перемешивается и укладывается в формочки с уплотнением железной палочкой. При набивании форма ставится на промасленную до-

ску; после укладки доска 10 раз встряхивается за один конец для уплотнения раствора, после чего избыток срезается ножом.

Изготавливать и хранить балочки нужно в комнате при обычной температуре около 15 градусов Цельсия.

После изготовления балочки хранятся первые сутки в формах, накрытые все время мокрой тряпкой. Затем все балочки кладутся в воду. При шлако-портландском цементе необходимо держать балочки в форме 3 суток и только после этого класть в воду.

После 7-ми дней со дня изготовления балочки испытываются на перелом. Испытание на перелом производится путем укладывания балочки на 2 табуретки; на табуретках прибиваются 2 железных уголка; табуретки ставятся так, чтобы расстояние между уголками было равно 20 см. (см. рис. № 28) балочка кладется на 2 уголка, по середине подвешивается ведро; при испытании в ведро насыпается песок до тех пор, пока балка не лопнет; если вес песка окажется недостаточным, то вместо песка кладутся гвозди, болты или

какие либо другие железные предметы; груз класть постепенно без ударов.

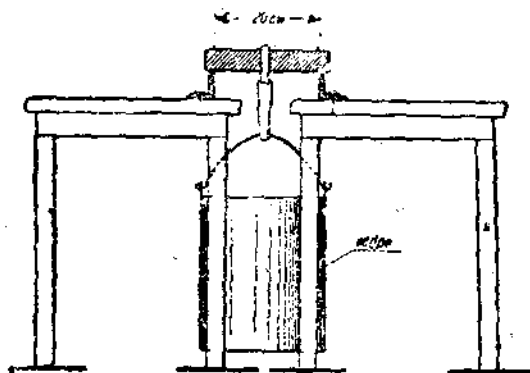


Рис. № 28. Приспособление для испытания пробных балочек.

Груз, оказавшийся разрушающим для балочки, взвешивается вместе с ведром.

Балочка из цемента низкого качества должна выдержать после 7-ми дней хранения груз 15 кг.; при цемента нормального качества—20 кгр., при цемента повышенного качества—25 кгр. и выше. Если балочка не выдержит через 7 дней даже 10-15 кгр., то цемент нужно применить для каких-либо неответственных работ, а не для железобетонных.

Имея результаты испытаний, мы знаем, на какое число нужно множить цементно-водный фактор, чтобы определить прочность бетона. С другой стороны, деля требуемую прочность бетона на один из трех множителей, в зависимости от результата испытания, мы определяем цементно-водный фактор, на котором должен быть изготовлен бетон.

В памятке мы указали, как определяется начало и конец схватывания. Кроме этих качеств цемента представляет большую важность его свойство равномерно изменять объем.

Дело в том, что цемент плохого качества при схватывании и твердении дает трещины, что очень вредно отражается на бетоне. Определение начала и конца схватывания,

а также равномерности изменения объема проводится на образцах из цементного теста. Для изготовления теста замешивается 1 килограмм цемента на 280 грамм воды и из полученного теста скатывается 7 шариков примерно диаметром в 4 см. Два шарика оставляют на стеклянных пластинках или блюдах, из пяти шариков готовят лепешки, для чего эти шарики помещают на стеклянные пластинки.

От постукивания стеклянных пластинок по столу шарики расплываются в лепешки диаметром примерно в 7 сантиметров и толщиной в середине, примерно, около 1 сантиметра; затем поверхность лепешек заглаживается.

Одна лепешка идет на определение начала и конца схватывания, для чего пробуют ногтем лепешку через каждые пять минут, как это описано в „памятке“.

Оставшиеся два шарика и четыре лепешки идут на испытание равномерности изменения объема.

Испытание это лучше всего провести по нормам, которые мы здесь и проводим.

2 шарика и 4 лепешки во влажном пространстве (в ящике с воздухом, насыщенном парами воды) сохраняются 24 часа.

Проба в воде. Две лепешки кладут затем в воду комнатной температуры, где и хранят 27 суток.

Проба кипячением. Два шарика и две лепешки кладут на 2 полки таганчика, который ставят в водяную баню так, чтобы один шарик и одна лепешка находились в воде, а другой шарик и другая лепешка находились выше уровня воды в водяной бане. Затем воду в бане доводят до кипячения и поддерживают таковое в течение 4 часов, после чего шарики и лепешки охлаждаются в водяной бане до следующего дня.

Примечание: Необходимо следить затем, чтобы нижние шарик и лепешка были постоянно в кипящей воде, а верхние шарик и лепешка в парах кипящей воды.

Цемент признается доброкачественным, если на шариках и на лепешках, вынутых из воды при пробе кипячением и через 27 дней — при пробе в воде, не обнаружится

трещин, видимых невооруженным глазом и в лупу, а также каких-либо искривлений (см. черт. 29).

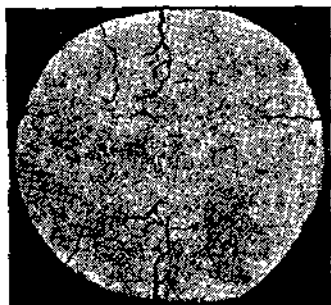


Рис. № 29.
Опасные трещины.



Рис. № 30.
Безопасные трещины.

Примечание: Появляющиеся иногда у середины лепешек волосные трещины (трещины усыхания), не достигающие до краев лепешек, не являются признаком недоброкачества цемента (см. черт. 30).

На этом заканчивается изучение материала: отощатель, вода и цемент.

Проектирование состава бетона.

Изучив материал предназначенный для изготовления бетона и имея задание получить бетон определенных качеств приступаем к его проектированию. В задании обычно дается требование выдержать определенную прочность на сжатие в 28 дневном возрасте, затем требование не применять гравий крупнее размеров удобных для укладки бетона и, наконец, условие выдержать такую консистенцию рабочей массы бетона, чтобы он мог наиболее плотным образом уложиться в форму.

Вопрос о правильном подборе консистенции, как уже указано в памятке, имеет чрезвычайно важное значение и поэтому подбор ее, установленный производителем работ совместно с наиболее опытными бетонщиками, должен строго выдерживаться. Для выдерживания одной и той же консистенции она замеряется. Для измерения консистенции

применяются разные приборы. Проще всего пользоваться столиком Скрамтаева. Последний состоит из двух деревянных

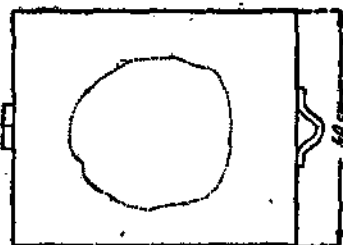
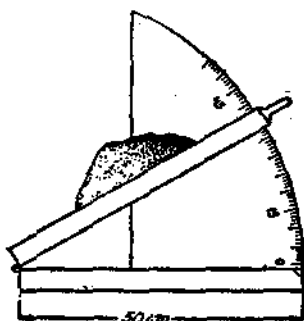


Рис. № 31. Столик Скрамтаева для измерения консистенции.

щитов размером 50×40 сантиметров, скрепленных дверной петлей. Верхний щит обит кровельным железом. К верхнему щиту прикреплена ручка, а к нижнему — дуга из фанеры, расчерченная на градусы. Прибор этот может быть легко изготовлен на любой постройке (см. чертеж 31).

Метод определения консистенции с помощью этого прибора следующий: на предварительно вытертый на сухо верхний щит кладется проба бетона в 3 л. и разравнивается в виде лепешки диаметром около 30 см. Затем медленно и без толчков поднимают за ручку верхний щит. При некотором угле наклона бетон начинает двигаться. Этот угол на-

клона (при начале движения всей массы бетона) и считается мерой консистенции.

Для удобства проектирования бетона нужно составить табличку, в которую и заносятся все сведения необходимые для этой работы.

Составляем табличку отощателя и заносим в нее следующие сведения:

O_1 кг/лит — объемный вес песка

O_2 кг/лит. " " гравия или щебня.

Φ — принятый фактор отощателя, т. е. отношение объема гравия (щебня) к объему песка в смеси.

P — пустотность отощателя.

K — коэффициент уменьшения объема при смешивании.

Для получения указанных величин проводятся следующие вычисления.

1) Объемные веса O_1 и O_2 , определим, деля веса B_1 и B_2 песка и гравия, взвешенные в форме размером $20 \times 20 \times 20$ см. на 8 (объем формы в литрах)

$$\text{следовательно } O_1 = \frac{B_1}{8} \text{ и } O_2 = \frac{B_2}{8}$$

В нашем примере $B_1 = 11,2$ кг., а $B_2 = 10,4$ кг.

Объемные веса равны:

$$O_1 = \frac{11,2}{8} = 1,4 \text{ кг/лит. и}$$

$$O_2 = \frac{10,4}{8} = 1,3 \text{ кг/лит.}$$

2) Пустотность отощателя определяем по формуле

$$\Pi = \frac{(B_c + 8) - (B_s + B_o)}{8}, \text{ где}$$

B_s — вес воды в ведре

B_o — вес отощателя в форме $20 \times 20 \times 20$ сантиметров

B_c — вес отощателя с водой в ведре.

В нашем примере имеем

B_s — 13 килограмм

B_o — 12 килограмм

B_c — 18,7 килограмм

$B_s + B_o = 13 + 12 = 25$ килограмм

$B_c + 8 = 18,7 + 8 = 26,7$ килограмм и следовательно

$$\Pi = \frac{26,7 - 25}{8} = 0,21$$

Этот же результат получен нами раньше (см пример на стр. 91).

3) Коэффициент уменьшения объема, как было описано раньше, определяется делением объемного веса отощателя на тот объемный вес смеси песка и гравия, который получился бы, если бы не происходило уменьшение объема при смешивании.

Объемный вес отошателя, т. е. смеси песка и гравия найти не трудно — он равен весу отошателя в форме деленному на 8, т. е.

$$O_3 = \frac{B_3}{8}$$

Объемный вес смеси зависит от фактора отошателя. Если фактор отошателя ϕ , то это значит, что на единицу объема песка приходится ϕ объемов гравия. Всего же объем смеси равен $1 + \phi$. Вес этой смеси равен весу объема песка O_1 плюс вес ϕ объемов гравия — $\phi \cdot O_2$.

Следовательно вес всей смеси равен $O_1 + \phi \cdot O_2$ откуда объемный вес смеси равен

$$O = \frac{O_1 + \phi \cdot O_2}{1 + \phi}$$

Искомое отношение объемов дающее значение K , равно

$$K = \frac{O_3 \cdot (1 + \phi)}{O_1 + \phi \cdot O_2}$$

В нашем примере:

$$\begin{aligned} O_1 &= 1,4 \quad O_2 = 1,3 \quad O_3 = 1,5 \quad \phi = 2 \\ O_1 + \phi \cdot O_2 &= 1,4 + 2 \cdot 1,3 = 1,4 + 2,6 = 4,0 \\ 1 + \phi &= 1 + 2 = 3 \\ (1 + \phi) \cdot O_3 &= 3 \cdot 1,5 = 4,5 \\ K &= \frac{4,5}{4,0} = 1,125 \end{aligned}$$

Этот же результат получен нами и ранее (см. пример на стр. 94).

Изготовив отошатели при разном факторе отошателя и проделав описанную нами работу, сведем полученные результаты в табличку.

Табличка результатов подсчетов нашего примера имеет следующий вид:

ф.	п.	К.
2	0.21	1.125

Обычно достаточно принять $\phi = 1,5; 1,8; 2,2$ и $2,5$.

Одна из этих пяти смесей даст наименьшую пустотность. Как же определить какая смесь наиболее выгодная для бетона?

Вспомним, что цементное тесто должно не только заполнить пустоты, но и раздвинуть частицы и смазать их. Очевидно, что теста на изготовление бетона пойдет больше, чем имеется пустоты в отощателе. Обычно запас теста берут равным в 10-20%. Чем больше запас теста, тем лучше будет смазка и тем подвижнее получается бетон.

Отношением объема теста к объему пустот в отощателе называем коэффициентом уплотнения и обозначаем его буквой U . Как мы сказали U может равняться 1,1 и 1,2. Зная пустотность отощателя и коэффициент уплотнения U —не трудно подсчитать расход отощателя и теста на кубометр бетона. Для упрощения работы составлена таблица № 1.

Таблица № 1

Пустотность	Уплотнение 1,1		$U = 1,2$	
	Отощателя литров	Теста литров	отощателя литров	Теста литров
0,20	980	215	962	230
0,21	979	225	960	241
0,22	978	236	958	252
0,23	977	250	956	265
0,24	976	260	954	275
0,25	975	270	952	286
0,26	974	280	950	297
0,27	973	290	948	308
0,28	972	300	946	318
0,29	971	310	944	330
0,30	970	320	943	340
0,31	969	331	941	350
0,32	968	342	939	360
0,33	967	352	938	370
Среднее = 975		—	950	

Каждой пустотности n при $Y = 1,1$ и $1,2$ соответствует свой объем отощателя в литрах „0“ и свой объем теста в литрах „г“ на кубометр бетона.

Пример $n = 0,24$ $Y = 1,1$ $O = 976$ литров
 $\tau = 260$ литров.

Другой пример $n = 0,30$ $Y = 1,2$ $O = 943$ литра
 $\tau = 340$ литров.

Как видно из таблицы расход отощателя мало меняется. Его можно принять равным 975 литров при $Y = 1,1$ и 950 литров при $Y = 1,2$. По табл. №1 мы определяем расход цементного теста. Расход же песка и гравия определяется так:

Если мы примем $Y = 1,1$, то сумма расходов песка и гравия равна 975. K и распределяется на песок и гравий в зависимости от Φ .

$$O_1 = \frac{975 \cdot K}{1 + \Phi}$$

$$O_2 = O_1 \cdot \Phi$$

Если мы принимаем $Y = 1,2$, то $O_1 = \frac{950 K}{1 + \Phi}$

$$O_2 = \Phi \cdot O_1$$

В нашем примере $\Phi = 2$, $n = 0,21$ $K = 1,125$, а Y мы примем $= 1,1$

Находим по таблице № 1 $\tau = 225$ литров

$$O_1 = \frac{975 \times 1,125}{1 + 2} = 366 \text{ литров} \quad O_2 = 2 \times 366 = 732 \text{ литров.}$$

Таким образом на кубометр бетона потребуется: песка—366 литр., гравия—732 литра, цементного теста—225 литр.

Остается указать, как составить цементное тесто, т. е. сколько взять цемента и сколько воды.

Объем цементного теста складывается из объема воды объема цемента и в зависимости от значения цементно-водного фактора определяется доля воды и доля цемента.

Для облегчения работы по подсчету воды и цемента составлена таблица №2, по которой можно найти сколько

требуется на нужный об'ем цементного теста литров воды, а также килограмм цемента, в зависимости от цементно-водного фактора.

Таблица № 2.

тест. лит.	1,0		1,1		1,2		1,3		1,4		1,5		1,6		1,7		1,8*)	
	ц. кг.	в. л.	ц. кг.	в. л.	ц. кг.	в. л.	ц. кг.	в. л.	ц. кг.	в. л.	ц. кг.	в. л.	ц. кг.	в. л.	ц. кг.	в. л.	ц. кг.	в. л.
200	149	149	162	147	172	143	182	140	191	136	200	133	208	130	216	128	225	125
210	157	157	169	154	180	150	191	147	200	143	210	140	219	137	228	134	236	131
220	164	164	177	161	188	157	200	154	210	150	220	147	230	144	240	141	248	138
230	172	172	186	169	197	164	209	161	220	157	230	153	240	150	250	147	260	144
240	179	179	194	176	206	172	218	168	230	164	240	160	250	157	262	154	270	150
250	187	187	202	184	215	179	228	175	240	171	250	167	261	163	272	160	281	156
260	194	194	210	191	213	186	237	182	250	178	260	173	270	169	284	167	294	163
270	202	202	218	198	232	198	246	189	258	184	270	180	282	176	294	173	304	169
280	209	209	226	205	240	200	255	196	267	191	280	187	292	183	304	179	315	175
290	216	216	233	212	248	207	263	202	277	198	294	196	302	189	316	186	326	181
300	224	224	242	220	256	214	272	209	286	204	300	200	314	196	326	192	338	188
310	231	231	250	227	265	221	281	216	297	212	309	206	324	202	338	199	350	194
320	238	238	258	234	274	228	291	224	306	218	321	214	333	208	348	205	360	200
330	246	246	266	242	283	236	300	231	315	225	330	220	344	215	360	212	371	206
340	254	254	275	250	292	243	310	238	325	232	339	226	355	222	371	218	380	211
350	261	261	283	257	300	250	317	244	335	239	351	234	365	228	381	224	393	218
360	269	269	292	265	308	257	328	252	344	245	360	246	376	235	393	231	406	225
370	276	276	299	272	317	264	336	258	353	252	369	246	386	241	404	237	416	231
380	284	284	308	280	326	272	326	266	363	259	380	253	397	248	415	244	428	238
390	291	291	316	287	334	278	354	272	372	266	390	260	406	254	425	250	440	244
400	298	298	323	294	343	286	364	280	381	272	400	267	417	261	435	256	450	250

Подчеркнуты составы, содержащие приблизительно 250 кг. цемента. Расходование большего количества цемента разрешается лишь в исключительных случаях.

В нашем примере: требовался бетон прочности 120 килограмм на квадратный сантиметр в возрасте 28 дней, цемент же был обычного качества и давал в возрасте 28 дней прочность 100 кг/см² при цементно-водном факторе 1. Сле-

*) 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7 и 1,8 это значения цементно-водного фактора.

довательно, требуемый цементно-водный фактор равен $120:100 = 1,2$.

При цементно-водном факторе 1,2, получим 225 литров теста, если замесим 193 килограмм цемента и 161 литр воды.

В конечном счете наш состав определится:

Песка	— 366 литров
Гравия	— 732 литра
Воды	— 161 литр
Цементы	— 193 килограмма.

Мы можем быть уверены, что бетон изготовленный по этому составу дает требуемую прочность, т. к. в нем цементно-водный фактор выбран в соответствии именно с этой прочностью. Нам нужно еще проверить консистенцию. Для этого приготовляем пробный замес и проверяем его на столике Скрамтаева. Если консистенция получается требуемая, то и это условие выполнено удовлетворительно.

Для ясности повторим ход решения задачи.

Заполнивши табличку отощателя, на основании опытов проделанных с песком и гравием мы останавливаемся на факторе отощателя с наименьшей пустотностью.

По таблице № 1 определяем для этой пустотности и $У = 1,1$, расход цементного теста.

Зная качество цемента и требуемую прочность бетона, определяем необходимый цементно-водный фактор. Тогда по таблице № 2 распределяем объем теста на долю воды В и цемента Ц.

По табличке отощателя, пользуясь найденным значением К, определяем долю песка и гравия.

Получив состав бетона, проверяем консистенцию на столике Скрамтаева. Если консистенция не удовлетворительна (обычно слишком густая), то мы либо увеличиваем У и принимаем его равным 1, 2, либо переходим к следующему большему значению Ф по табличке отощателя. Останавливаемся на том решении, которое потребует меньшего расхода цемента для достижения требуемой консистенции.

Если работа нами проделана хорошо, то мы можем заранее сказать объемный вес бетона.

В самом деле умножая объемный вес песка на расход песка, получим вес песка в бетоне, умножая объемный вес гравия на расход гравия, получим вес гравия в бетоне, а сложив веса песка, гравия, воды и цемента, найдем вес кубического метра бетона или же 1000 литров. Следовательно разделив вес на 1000, найдем объемный вес бетона. Оставшийся бетон, пробного замеса набиваем в форму $20 \times 20 \times 20$, взвешиваем бетон, делим все на 8 и получаем действительный объемный вес бетона. Если действительный объемный вес мало отличается от подсчитанного (не более 2%) то это указывает, что работа сделана хорошо и мы спокойно можем ждать результатов испытания заготовленных образцов.

Проверять прочность бетона лучше всего на кубиках, но эта проверка требует лабораторного пресса. Поэтому мы и в этом случае можем заменить испытание кубиков испытанием балочек, как это мы сделали при изучении цемента.

Балки изготавливаются длиной 120 сантиметров и поперечного сечения 15×15 сантиметров.

Для изготовления балочек служат деревянные формы из досок толщиной не менее 4 см. Балочки выдерживаются в форме два дня, а потом хранятся во влажном песке при комнатной температуре. Балочки испытываются на седьмой день или на двадцать восьмой. Бетон в возрасте 7 дней набирает обычно $\frac{1}{3}$ от прочности бетона в возрасте 28 дней. Например, если мы запроектировали бетон прочности в 90 килограмм на квадратный сантиметр, то должны ждать в возрасте 7 дней прочность в 60 килограмм на квадратный сантиметр.

При испытании балок мы укладываем их на две прочные опоры с расстоянием в свету 100 см., а грузовой ящик подвешиваем ровно по середине, если балка изготовлена правильно (все размеры выдержаны) расстояние между опорами точно равно 100 см., а грузовой ящик подвешен по середине пролета, то прочность бетона в килограмм на квадратный сантиметр составляет 40% от веса разрушающего груза в килограммах.

Пример: при испытании балки в возрасте 7 дней балка разрушилась при грузе 150 кг., (разрушающий груз определяется взвешиванием ящика вместе с балластом) нужно узнать чему будет равна прочность бетона в возрасте 28 дней.

Прочность бетона во время разрушения, т. е. в возрасте 7 дней, равна

$$150 \times 0,40 = 60 \text{ кг./см}^2$$

Ожидаемая прочность в возрасте 28 дней будет в полтора раза больше, т. е. $60 \times 1,50 = 90 \text{ кг./см}^2$.

Так как прочность бетона играет большую роль, то весьма желательно не ограничиваться изготовлением одних балок, но заготавливать также кубики для отсылки их на испытание в лабораторию.

Если в работу идет гравий (щебень) не крупнее чем 4 см., то кубики приготавливаются размером $20 \times 20 \times 20$ сантиметров, если же щебень крупнее, то кубики должны иметь размер $30 \times 30 \times 30$ см. Формы для изготовления кубиков можно делать из досок не тоньше 4 см.

Маленькие кубики заполняются бетоном за два раза, а большие за три раза. Бетон в формах трамбуется или штыкуется в зависимости от консистенции и принятого способа укладки бетона в деле. Кубики освобождаются из форм через 24 часа по изготовлении и хранятся во влажных опилках при комнатной температуре.

Запроектировав состав бетона нужно проследить за выполнением задания на работе, за качеством работы и уходом за бетоном. На это имеются специальные инструкции (см. эту книгу отд. 3) Мы остановимся лишь на одном вопросе, тесно связанном с проектированием. Мы нашу работу проводили на сухом песке, а в действительности песок и гравий на строительстве содержат влагу. В гравии воды мало, а в песке его бывает много. Воду в гравии мы можем не учитывать, а в песке учитывать ее нужно, т.к. вводя влажный песок в замес мы тем самым вводим туда воду.

Это одно обстоятельство, а другое кроется в том, что влажный песок занимает больший объем чем сухой. Следовательно нам нужно учитывать содержание воды в песке, что-

бы соответственно менять дозировку воды и песка в замесе. Содержание воды в песке определяется так: отмеряется литр влажного песка и взвешивается, а затем песок этот просушивается и взвешивается вновь. Потеря в весе при просушке дает содержание воды в одном литре. Если обозначить вес 1 литра влажного песка O_v , а вес песка после сушки O_c , то вес воды в 1 литре песка равен разности этих весов $O_v - O_c$. По весу O_c можно судить об увеличении объема песка от увлажнения. В одном литре влажного песка имеется O_c сухого песка, а литр сырого песка весит O_v , следовательно в 1 литре влажного песка содержится по объему лишь $\frac{O_c}{O_v}$ литров песка

Покажем на примере, как учитывается это обстоятельство. В нашем примере $O_v = 1,4$ кг. Вес влажного песка O_v оказался равным 1,420 кг. После сушки вес песка O_c оказался равным 1,330 кг. Содержание воды в 1 литре влажного песка $1,420 - 1,330 = 0,090$ килограмм.

Литр сухого песка весит 1,400 кг., а во влажном песке содержится лишь 1,330 кг. сухого песка. Для того, чтобы получить литр сухого песка, нам нужно будет взять влажного песка $\frac{1,400}{1,330} = 1,05$ литр

В наш состав бетона входит 366 литров сухого песка. Следовательно требуется взять влажного песка.

$$366 \times 1,05 = 384 \text{ литра.}$$

В 384 литрах влажного песка содержится воды

$$0,090 \times 384 = 34,6 \text{ литра.}$$

Нам придется брать не 161 литр воды, а на 34,6 меньше, т. е. 126,4 литра.

Полевой состав бетона с учетом влажности песка получается следующий:

Песка . . .	384	литра (влажного)
Гравия . . .	732	литра
Воды . . .	126,4	литра
Цементы . .	193	кг.

В этом пересчете важную роль играет вода. Если бы мы оставили объем песка без изменений, т. е. 366 литров, то это вызвало бы лишь перерасход цемента. Поэтому, если затруднительно определять влажность песка, то ее оценивают примерно так:

влажность сухого песка . . .	1%
„ обычного песка . . .	5%
„ песка после дождя . . .	10%

В нашем примере песок брался после дождя. Если бы мы не определяли влажности высушиванием, то должны были принять, что влажность песка равна 10%, и получили бы следующую поправку состава. Содержание воды в 366 литрах песка $366 \times 0,10 = 36,6$, следовательно дозировка воды $161 - 36,6 = 124,4$ литра

Песка	366	литров
Гравия	732	литра
Вода	124,4	„
Цемент.	193	кг.

В инструкции даны две таблицы, но если какие нибудь выкладки представляют затруднения, то и для них можно составить таблицы. Если Вам понадобятся такие таблицы, то обращайтесь с запросом в ближайшую лабораторию или же в Тифлис—Закавказский Институт Сооружений.

Для проведения работы по проектированию бетона требуется помимо обычного для каждой постройки инвентаря, следующее:

1. Столик Скрамтаева —изготовл. на работе
2. Формы для кубиков— „ „ „
3. Формы для балок — „ „ „
4. Формы для балочек— „ „ „
5. 3% раствор каустической соды—купить в аптеке.

При составлении таблицы № 1, мы воспользовались следующими формулами:

$$V = \frac{1}{1 + (\varphi - 1) \alpha}$$

$$\text{при } \varphi = 1,1 \quad V = \frac{1}{1 + 0,1 \alpha}$$

$$\text{при } \varphi = 1,2 \quad V = \frac{1}{1 + 0,2 \alpha}$$

Таблицы подсчитаны для пределов $\alpha = 0,20 - 0,33$. В этих пределах V меняется незначительно

$$V = \frac{1}{1 + 0,1 \cdot 0,20} = 0,980 \text{ м}^3 = 980 \text{ литров}$$

$$V = \frac{1}{1 + 0,1 \cdot 0,33} = 0,968 \text{ м}^3 = 967 \text{ литров}$$

При $\varphi = 1,1$ можно принять $V = 975$ литров. Аналогичный подсчет при $\varphi = 1,2$ дает $V = 962$ и 938 литров или в среднем $V = 950$ литров.

Расход цементного теста подсчитан по формуле

$$t = \frac{\varphi \alpha}{1 + (\varphi - 1) \alpha}$$

$$\text{В нашем случае } t = \frac{1,1 \alpha}{1 + 0,1 \alpha}$$

$$t = \frac{1,2 \alpha}{1 + 0,2 \alpha}$$

Таблица № 2 подсчитана по формулам

$$Z = \frac{3 K}{K + 3} t \quad W = \frac{3}{K + 3} t$$

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

Упрощенный прямой метод проектирования состава бетона

Этот метод складывается из следующих операций:

- 1) Изучение цемента
- 2) Изучение песка
- 3) Изучение камневидной.

4) Изучение отощателя в зависимости от коэффициента отощателя и определение критического значения фактора отощателя — μ_0

5) Отыскание оптимального фактора отощателя, изготовление образцов и сверка теоретического объемного веса бетона с фактическим.

Первые три операции изложены в помещенной ниже Инструкции (см. отдел III).

Дадим краткое описание и сводку формул последних операций.

Определение критического значения фактора отощателя.

При изучении отощателя применяется форма размером $20 \times 20 \times 20$ или $30 \times 30 \times 30$ см., в зависимости от предельной величины зерна камневидной. В первом случае объем отощателя должен примерно составлять 10 литров (> 8), а во втором 30 литров (> 27)*.

Учитывая уменьшение объема при смешивании и возможные пределы μ мы отбираем 7,5 литров сухого песка в стан-

*) В дальнейшем мы предполагаем камневидную обычной величины и работу с формой $20 \times 20 \times 20$ см. Если применяется форма $30 \times 30 \times 30$ см., то приводимые числа умножаются на три.

дартном состоянии. Для уточнения работ все об'емы переводятся в веса путем умножения на объемные веса.

Для сокращения работы мы начинаем изучение отошателя с фактора $n = 1,6$ и увеличиваем n с интервалами в 0,2. Если n критическое не лежит вправо от $n = 1,6$, то работа проводится в сторону уменьшения n ($n = 1,4, 1,2$).

Диапазон колебаний $n = 1,2 - 1,4 - 1,6 - 1,8 - 2,0 - 2,2 - 2,4 - 2,6$ охватывает всевозможные комбинации гравия, щебня, песка естественного и искусственного.

n критическое естественного песка и гравия лежит близко к 2 с колебаниями в ту и другую сторону; при плохо сортированном щебне n уменьшается до 1,2.

Отвесив 7,5 Δ_1 (Δ_1 об'емный вес песка) килограмм песка, мы высыпаем его на железный боек, добавлением к нему $7,5 \times 1,6 \Delta_1 = 12 \Delta_2$ килограмм камневидной и тщательно перелопачиваем смесь полученным отошателем заполняем форму $20 \times 20 \times 20$ см.

Сняв линейкой избыток отошателя, взвешиваем форму, определяем вес отошателя нетто (на форме написан вес тары) и подсчитываем об'емный вес отошателя. Опыт показал, что способ укладки отошателя в форму — трамбование, встряхивание, постукивание и т. п. мало сказывается на об'емном весе.

После взвешивания высыпаем форму на боек, снова, перемешиваем смесь и вновь определяем об'емный вес Δ . Повторяем операцию три раза и подсчитываем среднее значение Δ . Все результаты взвешиваний заносятся в рапортичку.

Найдя Δ при $n = 1,6$, переходим к определению Δ при $n = 1,8$ для чего добавляем к смеси 1,5 Δ_2 килограмм камневидной. Перемешав весь материал, повторяем операцию для определения Δ при $n = 1,8$. Далее добавив 1,5 Δ_2 килограмм камневидной, находим Δ при $n = 2$ и т. д. Порции камневидной в 1,5 Δ_2 килограмм желательно заготовить заранее.

Если n критическое не лежит вправо от принятой нами точки $n = 1,6$, то боек освобождается от отошателя (ото-

щатель может быть просеян на песок и камневидную и вновь пущен в дело). На боек высыпается $7,5 \Delta_1$ килограмм песка и добавляется $7,5 \times 1,2 \Delta_2 = 9 \Delta_2$ килограмм камневидной. Проводится определение Δ при $n = 1,2$, а затем по добавлении $1,5 \Delta_1$ килограмм камневидной определяется Δ при $n = 1,4$.

Т. к. минимум пустот α не всегда совпадает с максимумом объемного веса Δ , то во избежание лишней работы, значения τ и α подсчитываются во время производства операций по определению Δ . Найдя n критическое, мы продолжаем работу еще на 1—2 интервала, т. к. n оптимальное больше n критического.

Коэффициент уменьшения объема определяется по формуле:

$$\tau = \frac{\Delta_1 + n \Delta_2}{(1 + n) \Delta}$$

Для удобства подсчета этой формулы придается вид:

$$\tau = \frac{\Delta_1 + n \Delta_2}{1 + n} \cdot \frac{1}{\Delta} \dots \dots \dots (1)$$

Первый множитель подсчитывается заранее для разных n при известных Δ_1 и Δ_2 .

Простым делением этого вспомогательного, заранее подсчитанного выражения на полученный объемный вес, определяем значение τ . Пустотность отощателя подсчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{[\alpha_1 - (1 - \tau)] + n [\alpha_2 - (1 - \tau)]}{(1 + n) \cdot \tau}$$

Эта формула преобразовывается следующим образом;

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{\alpha_1 - 1 + \tau + n \alpha_2 - n + n \tau}{(1 + n) \tau} = \frac{(1 + n) \tau - [(1 - \alpha_1) + n(1 - \alpha_2)]}{(1 + n) \tau} \\ &= 1 - \frac{(1 - \alpha_1) + n(1 - \alpha_2)}{(1 + n) \cdot \tau} \end{aligned}$$

Пользуясь формулой 1, имеем окончательно

$$\alpha = 1 - \frac{(1 - \alpha_1) + n(1 - \alpha_2)}{\Delta_1 + n\Delta_2} \cdot \Delta \dots \dots \dots (2)$$

Коэффициент при Δ подсчитывается заранее для разных n при известных Δ_1 и Δ_2 .

Вычисление α при полученном Δ проводится весьма быстро.

Весьма просто производятся выкладки и без предварительно подсчитанных коэффициентов при помощи номограммы и-ра В. В. Михайлова. Описание номограммы дано в „Проектировании состава бетона для набережной и отделки дна р. Темерник в г. Ростове на Дону“.

Определив критическое значение фактора отощателя переходим к следующей операции.

Отыскание оптимального фактора отощателя

Оптимальное значение фактора отощателя тем более превышает его критическое значение, чем прочнее и пластичнее требуется бетон.

Исходя из этого положения подсчитываем, составы бетона меняя n и φ и останавливаемся на составе, дающем требуемую консистенцию при минимуме расхода теста. Для облегчения подсчетов служит номограмма инженера В. В. Михайлова.

Назначение цементно-водного фактора производится по требуемой прочности бетона и кривой прочности цемента.

Если в дело пускается щебень и дробленый песок или в отощателе содержится уплотняющая пыль, то значение цементно-водного фактора можно понизить, учитывая разгружающее действие отощателя в бетоне сложной структуры и уплотнение цементного камня пылью (см. „Проектирование состава бетона облицовки напорного тоннеля Дзоргас“).

Выбрав состав бетона, определяем его объемный вес по формуле:

$$\Delta_{\text{бет}} = \frac{V_1 \Delta_1 + V_2 \Delta_2 + Z + W}{1000} \text{ кг/лит.}$$

Изготавливая кубики для проверки прочности мы сверяем теоретический объемный вес с действительным. Действительный объемный вес определяется непосредственно по изготовлении образца путем взвешивания его в форме и делением веса бетона нетто в килограммах на 8. Чем меньше расхождение в весе, тем большая уверенность в бетоне. Обычно отклонение в объемном весе не должно превышать 2%.

Дальнейшей оценкой качества бетона (до испытания его в кубике) служит вес воды подсосанный образцом. Для определения веса подсосанной воды образец по освобождении его из формы взвешивается и опускается на сутки в воду. Затем вынутый из воды образец вытирается мягкой тряпкой и взвешивается. Разница в весе образца до и после погружения в воду выраженная в граммах и деленная на 80, дает объем подсосанной воды в процентах и служит до известной степени, мерилom плотности строения бетона.

К чему же сводится работа по проектированию состава бетона упрощенным прямым методом.

Изучивши по инструкции цемент, мелкую и крупную добавку мы смешиваем отощатель в разных пропорциях, строим кривую пустотности и определяем критический фактор отощателя.

Зная критический фактор отощателя, определяем попытками оптимальный состав бетона требуемой прочности и консистенции. Прочность обеспечивается надлежащим выбором цементно-водного фактора, а консистенция проверяется. Остановившись на составе, готовим образцы для испытания, определяя попутно фактический объемный вес бетона. Малое расхождение фактического и подсчитанного объемного веса свидетельствует о надежности работы. Работа по проектированию состава бетона, по изучении материалов может

быть закончена в один прием и не требует сроков выдержки. Нами дана схема работы. В действительности приходится учитывать индивидуальные требования производств, что одновременно и расширяет и суживает задачу. В качестве примера проектирования состава бетона упрощенным прямым методом приведена работа А. И. Яшвили — „Проектирование состава бетона для набережной и отделки дна р. Темерник в г. Ростове н/Д“.

Проектирование состава бетона для набережной и обделки дна р. Темерник в г. Ростове н-Д. *)

I. История вопроса и задание

Проект регулирования русла р. Темерник в пределах городской черты г. Ростова на-Дону предусматривает укрепление берегов массивными набережными с обеих сторон на протяжении 2 км. от устья. Дно предполагается облицовывать бетонными плитками, связанными между собой железной арматурой, выступающей сбоку шашек.

Гидротехнический характер сооружения в условиях суровой зимы и наличия вредных примесей в грунтовых водах усложнял задачу подбора бетона водонепроницаемого, морозостойкого и химически устойчивого.

Вопрос регулирования р. Темерник, давно ставший жизненным вопросом для Северо-Кавказской жел. дор. и Коммунохоза г. Ростова, был передан для проектирования Севкавсельстрою при НКЗ РСФСР, выделившему специальное Управление по строительству „Темерникстрой“.

Попытка Темерникстроя возложить задачу подбора состава бетона на местный филиал Института Сооружений (СКИНСТРО) не увенчалась успехом, ввиду недостаточности оборудования Ростовской лаборатории и отсутствия инструкции по гидротехническим бетонам. Обращение Темерникстроя

*) Работа выполнена А. И. Яшвили.

в Институт Бетонов с просьбой о высылке инструкции по подбору состава бетона для гидротехнических сооружений не могло быть выполненным из-за отсутствия подобной инструкции. Институт Бетонов рекомендовал Закавказскому Институту Сооружений (ЗИС) консультировать Темерникстрой, учитывая, что ЗИС проделал большое количество работ по проектированию гидротехнических бетонов.

В результате переговоров Темерникстроя с ЗИС'ом последний командировал своего сотрудника в гор. Ростов для ознакомления с материалами проекта и заключения условий договора по проектированию бетона. В приложении мы приводим текст технического задания, составляющего часть соглашения, подписанного в г. Ростове 5/IV—1931 г. представителями Темерникстроя и ЗИС'а.

В силу указанного соглашения Темерникстрой доставил в Тифлис необходимые строительные материалы, на основе которых лаборатория сектора бетонов ЗИС'а провела первую часть работы, обусловленной соглашением.

Соглашение предусматривало две стадии проектирования; первая стадия включала проектирование составов бетона для набережной и обделки на обычном портланд-цементе, так как возможность применения п-цемента в смеси с гидравлической добавкой отпала, в виду отсутствия на последнюю заявки, а заявка на трассовый цемент также была недостаточна, составляя всего около 5—7% от потребной. Имелось предположение, что удастся получить комовый трепел от Небудконал'а (ст. Кутейниково, Дон. ж. д.) и произвести помол его на Ростовском цементно-шиферном заводе. На случай если бы строительству все же удалось получить гидравлические добавки или трассовый цемент, нужно было выполнить работу по проектированию составов бетона также и с применением гидравлической добавки.

Выполнение работ первой стадии проводилось лабораторией сектора бетонов ЗИС'а в мае—июне 1931 г. Результаты произведенной работы оказались весьма благоприятными и подтвердили основное положение Фере: „Плотность бетона определяет его высокую сопротивляемость в отношении внешних воздействий“.

II. Исследование материалов

1. ЦЕМЕНТ.

Цемент поступил на строительство осенью 1930 года и хранился в бочках в сарае. Осмотр цемента показал отсутствие схватившихся комьев, что свидетельствовало о хороших условиях его хранения. Испытание цемента в объеме требований ОСТ 1309—1310 подтвердило доброкачественность материала и полную пригодность его для ответственных работ.

Результаты испытания цемента приводятся в таблице 1 (а) и 1 (б):

ТАБЛИЦА 1 (а)

ЗИС	КАРТОЧКА ЦЕМЕНТА	№.....
Строительство ТЕМЕРНИКСТРОЙ		Тифлисская районная лаборатория
1. Марка цемента „0“ 2. Завод и объединение—Новороссийский. 3. № партии. 4. Вес партии в тоннах. 5. Род упаковки—бочки. 6. Пункт отправки.—Ростов/Д. (ст. ж. д. или пристань) 7. Пункт назначения—Тифлис ЗКВ ж. д. 8. Способ доставки к месту работ. 9. Дата получения наряда на испытание цемента—4/V—1931 г.		10. Срок схватывания (в час.) начало — 2 ¹ / ₂ конец — 5 11. Равномерность изменения объема: испытание в воде—удовл. горячая проба —удовл. 12. Тонкость помола в ‰— остаток на сите 900 отв/см ² —1,25‰ прошло через сито 4900— 76,5‰ прошло через сито 10000— 13. Нормальная густота ‰: цементного теста —29 раствора с норм. песком 8,5

Из таблицы 16 видно, что активность цемента— $R_{28}=257$ кг/см², превышает стандартную на 60⁰%. Временное сопротивление растяжению раствора 1:3 с нормальным вольским песком выше стандартного на 12⁰%, а образцы из цементного теста уже в возрасте 4 дней достигают 90⁰% от стандартной 28-дневной прочности. Остальные требования ОСТ 1309— в отношении равномерности изменения объема, тонкости помола и т. п. выдержаны, на основании чего и сделано соответствующее заключение.

2. ПЕСОК.

Песок доставляется из Хапровского карьера (ст. Хапры, Дон. ж. д.) по железной дороге. Зерна песка кварцевые, мел-

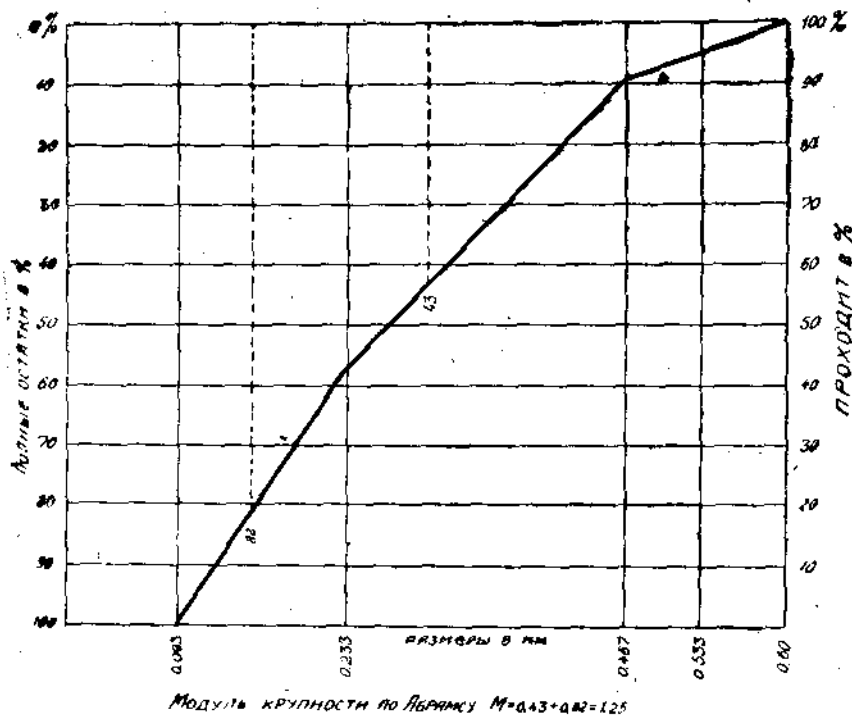


Рис. 32. Кривая грануляции Хапровского песка с подсчетом модуля крупности по Абраму.

кие и угловатые, что благоприятствует хорошему сцеплению с цементным тестом в растворе и бетоне.

Гранулометрический анализ песка с точки зрения „идеальных кривых“ совершенно неудовлетворителен. Лаборатория сектора бетонов не пользуется в обычной работе понятием „модуль крупности“, учитывая недостатки его. Тем не менее мы приводим значение модуля крупности Хапровского песка равное 1,23, поскольку в Инструкции ВСНХ по контролю бетона указывается нижний предел модуля крупности песка—1,5. Кривая грануляции песка дана на рис. 32.

Анализ кривой грануляции указывает, что песок полностью проходит через сито 0,6 мм. (№ 3 по стандартному набору проф. Беляева) и свыше 40% проходит через сито 900 отв/см² (ОСТ 1310). По терминологии Гайе последняя фракция песка именуется в дальнейшем пылевидной составляющей.

Объемный вес песка в стандартном (рыхло насыпанном) состоянии довольно постояен, определен в 1-литровом мерном сосуде и равен 1,42 кг/л. Пористость песка $\alpha_1 = 0,46$; повышенная пористость является следствием гранулометрического состава. Подобные пески, вообще говоря, требуют улучшения состава тем или другим путем; в противном случае приходится повышать расход цемента на кубометр бетона.

Коэффициент проф. Скрамтаева

$$K = M (50 - V) = 1,23 (50 - 46) = 49$$

слишком низок и подобно модулю крупности не рекомендует качество песка.

Таким образом в свете обычных гранулометрических представлений Хапровский песок явно неудовлетворителен. Однако опыт ЗИС'а в деле проектирования бетонов для гидротехнических сооружений дал убедительные доказательства, что применение пыли снижает расход цемента на куб. мет. бетона, так как требуемые прочности обычно невелики, а уплотнение пылью увеличивает не только плотность бетона, но одновременно повышает прочность цементного камня на сжатие при низких цементно-водных факторах. Наличие в песке пыле-

видных частиц, являющихся прекрасным уплотнителем цементного теста, было весьма удачным обстоятельством, компенсирующим неудовлетворительность гранулометрического состава.

Реакция Абрамса-Гарднера на загрязнение органическими примесями показала высокую чистоту песка, допускающую применение его для самых ответственных бетонных и железобетонных работ без промывки. Следует отметить, что промывка Хопровского песка была бы нецелесообразна из-за вымывания ценной его доли — пыли. Определение содержания илистых и глинистых веществ, произведенное путем отстаивания взмученного песка в мензурке, дало величину не превосходящую 1,5% об'ему.

Приведенные результаты изучения песка давали уверенность в возможности с успехом рекомендовать его применение. Однако, лаборатория сектора бетонов для полной уверенности произвела сравнение механической прочности образцов из раствора с нормальным вольским (односитным) песком и рабочим (хапровским).

Результаты сравнения приведены в таблице 2 (см. стр. 126).

Для отчетливости понимания таблицы 2 следует иметь в виду, что различие в прочностях образцов с нормальным рабочим песками почти всегда имеет место уже из-за различной нормальной густоты растворов, определяемой по методу, принятому ОСТ 1310. Для возможности сравнения различных песков нами производится пересчет нормальной, густоты определяемой по копру, на цементно-водные факторы. Так как рост прочности с увеличением цементно-водного фактора следует закону прямой линии, то умножая действительные прочности на отношение цементно-водных факторов растворов с нормальным и испытуемым песками, мы получаем возможность сравнивать пески при одном и том же цементно-водном факторе и работе трамбования.

В таблице 2 приведенные прочности раствора с рабочим песком получены путем умножения действительных прочностей на отношение $\frac{2,94}{2,27} = 1,3$ (величина обратная отношению нор-

Т А Б Л И Ц А 2

сравнительных прочностей образцов из раствора с нормальным вольским и ханровским песком, приведенных к цементно-водному фактору для вольского песка

Состав раствора	Нормальная прочность в %	Цементно-водный фактор	Род песка	Род испытания	Временное сопротивление кг/см ²					Примечание	
					Действительное	Приведенное к цементно-водному фактору вольского песка					
						4 дн.	7 дн.	28 дн.	4 дн.		7 дн.
Цем.: песок (1:3) . . .	5,8	2,92	Вольский нормальный однородный	Растяжение	15,7	16,8	21,6	15,7	16,8	21,6	
" " " " " "	"	"	"	Сжатие	128	160	257	128	160	257	
" " " " " "	11,25	2,27	Ханровский естественный	Растяжение	12,0	14,0	21,7	15,6	18,1	28,1	
" " " " " "	"	"	"	Сжатие	80	102	152	104	182	171	

мальных густот вольского и рабочего песков $\frac{8,5}{11} = \frac{1}{1,3}$.

Данные табл. 2 (последняя графа) указывают, что прочность раствора рабочего песка на сжатие ниже прочности стандартного раствора на 33%; что же касается прочности на растяжение, то здесь картина меняется и хапровский песок дает превышение против вольского на 30%. Цифры эти относятся к испытанию в возрасте 28 дней. (Применялся цемент Темерникстроя). Указанная выше аномалия является следствием чрезвычайной мелкости песка, обладающего высокой удельной поверхностью.

3. Г Р А В И Й.

Гравий доставляется строительству из двух карьеров: армавирского (мелкий) и коноковского (крупный) со ст. Коково, С.-К. ж. д. Крупный гравий детальному обследованию не подвергался, учитывая значительную крупность зерна, не позволяющего применение его в лабораторных образцах, кроме того добавление в бетон более крупного материала в количестве $\frac{1}{8}$ от объема мелкого не может ухудшить качества бетона, но должно привести к улучшению консистенции его и повышению сопротивляемости внешним воздействиям.

Нами было предложено смешивать оба сорта гравия в отношении (1:6) — 1) из соображений не изменять значительно гранулометрический состав смеси инертных во избежание резкого изменения консистенции состава, запроектированного на армавирском гравии и 2) из нежелания создавать диспропорцию между заявками Темерникстроя на оба сорта.

Кривая грануляции гравия дана на рис. № 33 (стр. 128).

Изучение армавирского гравия дало величину объемного веса его 1,73 кг/л., коэффициент пористости оказался равным $\alpha_1 = 0,36$. Гравий содержит некоторое количество выветрившихся частиц, ломающихся в руке. Для выяснения количества слабых частиц и степени крепости самого гравия нами были изготовлены кубики $20 \times 20 \times 20$ см. из смеси гравия и цементного теста (гравийный раствор). Объем гравия составляет около 30—40% от объема цементного теста или около 25—30% от объема кубика; количество воды устанавливается в зави-

симости от сопротивления, которое желательно иметь от цементного камня, следовательно, определяется цементно-водным фактором.

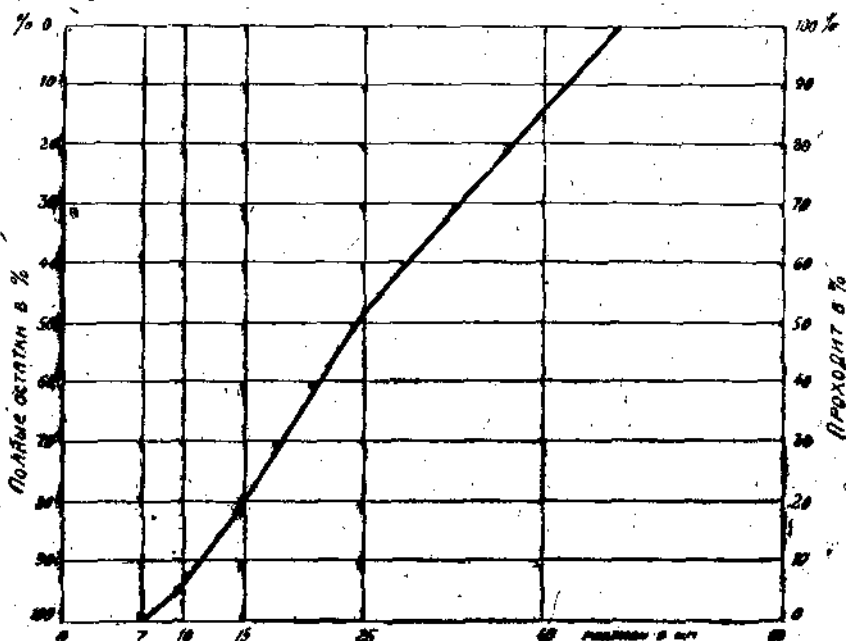


Рис. 33. Кривая грануляции Армавирского гравия.

Рекомендуется одновременно затворять кубики из чистого цементного теста, учитывая, в случае необходимости, изменение сопротивления в зависимости от размера образца.

Испытание гравия в растворе показало, что на 3-й день при прочностях образца $7 \times 7 \times 7$ из цементного теста в 120 кг/см^2 и образца $20 \times 20 \times 20$ с гравием в 100 кг/кв. см. , при чем гравий не ломается; на 4-ый день цементный камень дает 150 кг/кв. см. , раствор 130 кг/кв. см. при изломе $10\text{--}15\%$ гравелиянок (определить излом по площади не удалось), и, наконец, на 6-ой день при прочности камня 200 кг/кв. см. , образца с гравием 180 кг/кв. см. — разламывается около $30\text{--}40\%$.

Испытание гравия в балках (растяжение при изгибе) показало, что при напряжении 25 кг/кв. см. рвется $15\text{--}20\%$.

из общего количества гравелинок в полусечении и при 35 кг/кв. см. до 30—40%, при чем в это количество не входит гравий, отставший от цементного камня. Сцепление гравия с цементным камнем достаточно хорошо, если учесть, что значительное количество гравелин не отрывается от камня, но рвется.

Принимая во внимание невысокую прочность, потребную для Темерникстроя, возможно было признать гравий удовлетворительным.

4. ОТОЩАТЕЛЬ.

Значительная работа была проведена нами по изучению отощателя. Проведение этой работы вызывалось следующими соображениями:

Качество бетона зависит не только от качеств его составных частей, но и от соотношения их в бетоне. Весовое соотношение между количествами цемента и воды ($\frac{W}{Z}$ — водоцементный фактор) при данных качествах инертных предопределяет механическую прочность бетона и консистенцию цементного теста. Далее соотношение между объемами цементного теста и отощателя (данного гранулометрического состава) определяет консистенцию бетонной массы. С другой стороны даже при постоянстве отношения $\frac{\text{цементное тесто}}{\text{отощатель}}$ консистенция бетона является функцией гранулометрического состава отощателя, иначе соотношения между количеством зерен разной крупности.

Нужно иметь в виду, что рассев песка и гравия на фракции с последующим смешением, отвечающим „идеальным кривым“ Фуллера, Графа и др. затруднителен, дорог и требует излишней затраты времени и рабсилы. В случае отказа от этого способа наиболее простым путем, позволяющим достигнуть минимума расхода цементного теста, а следовательно и цемента, является подбор оптимального соотношения между песком и камневидной в отощателе. Существует для каждой пары песка и гравия такое критическое соотношение (1:n), называемое нами в дальнейшем „фактором отощателя“, при котором смесь имеет наименьшее количество пустот.

Для получения бетона плотного, водонепроницаемого и морозостойкого, необходимым условием является достижение минимальной пористости его, хотя бы даже за счет некоторого снижения прочности бетона. Необходимо, следовательно, заполнить все поры отощателя, что требует известного расхода цементного теста; для получения монолитного бетона нужно затратить еще некоторое добавочное количество цементного теста, которое по отвердении свяжет между собой частицы отощателя. Минимум расхода цемента на кубометр бетона будет достигнут, когда расход цементного теста на заполнение пор и смазку отощателя будет минимальным при сохранении заданного цементно-водного фактора и требуемой консистенции бетона.

Минимум расхода цементного теста не совпадает с минимумом пустот отощателя. Идя в сторону повышения величины n против критического, мы увеличиваем пористость смеси, но одновременно уменьшаем удельную поверхность отощателя так как с увеличением среднего размера зерна смеси поверхность его, отнесенная к единице объема зерна, уменьшается. Понижением же фактора отощателя ниже критического увеличивается одновременно и пористость смеси и удельная поверхность ее. Несомненно, что общий расход цементного теста в последнем случае возрастет по сравнению с n критическим.

С другой стороны с увеличением n растет расход теста, идущего на заполнение пор, но уменьшается доля расхода теста, идущего на смазку. Вполне ясно, что минимум расхода теста не может совпадать с минимумом пустот, отвечающим критическому значению n , но будет иметь место при некотором значении фактора отощателя n , превращающим критическое.

Нахождение оптимальной величины n путем подсчета несколько затруднительно, однако, положение „оптимальное соотношение $\frac{\text{гравий}}{\text{песок}}$ в отощателе сдвинуто в сторону увеличения его против критического, соответствующего минимуму пустот в ото-

щателе, твердо устанавливает наименьший предел фактора отошателя.

Опытное определение оптимального значения n и представляло ближайшую нашу задачу. Методика проведения подобного определения на практике и составляет предмет дальнейшего изложения.

Для определения оптимального значения n нами предварительно определяются объемные веса песка и гравия, чтобы иметь возможность от объемных соотношений ингредиентов отошателя переходить в лабораторных условиях к весовой дозировке.

На железном бойке тщательно перемешивается смесь песка с гравием в определенном объемном соотношении $1:n$, взятых в весовых отношениях $(\Delta_1 : n\Delta_2)$, где Δ_1 и Δ_2 — объемные веса песка и гравия в стандартном состоянии. Далее смесью наполняется жестяной мерный сосуд объемом 10 л. в случае, если бетон не должен трамбоваться или кубическая

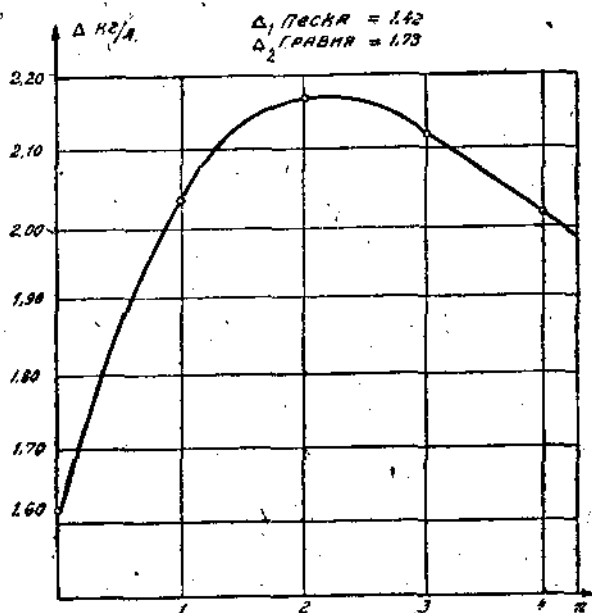


Рис. 34. Кривая объемного веса отошателя в зависимости от фактора отошателя.

форма для бетонных образцов объемом 8 или 27 л., если бетон имеет жесткую консистенцию. В данном примере смесь утряхивалась и излишек отощателя удалялся. Путем взвешивания мерки определяется объемный вес смеси; желательно производить не менее 5—6 определений и проверять одновременно выход отощателя для вычисления коэффициента уменьшения объема r .

Вполне достаточно ограничиться значениями n равными 1, 2, 3 и 4. Результаты определения объемного веса обрабатываются нами по методу отыскания вероятных пределов измеряемой величины. По полученным значениям Δ объемного веса смеси, строится кривая изменения объемного веса в функции фактора отощателя.

Кривая объемного вес отощателя Темерникстроая дана на рисунке 34 (стр. 131).

Пользуясь кривой объемного веса можно аналитически вычислить все другие характеристики отощателя и предста-

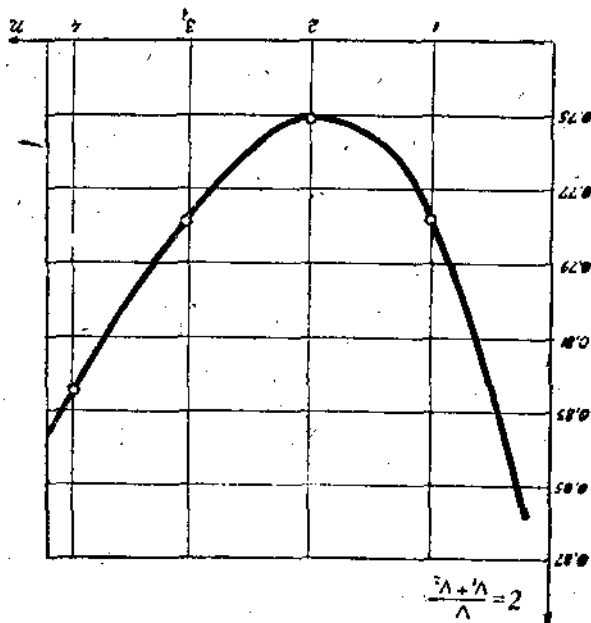


Рис. 35. Кривая уменьшения объема при смешивании отощателя в зависимости от фактора отощателя.

вить их в виде кривых. На рисунках 35 и 36 нанесены кривые коэффициента пористости α и уменьшения объема γ в функции n . Взамен вычисления по формулам удобно пользоваться номограммой инж. В. Михайлова.

Анализ графика 36 показывает, что оптимальное значение фактора отощателя близко к 2. Практически, как выше указывалось, необходимо при проектировании бетона n_0 увеличивать:

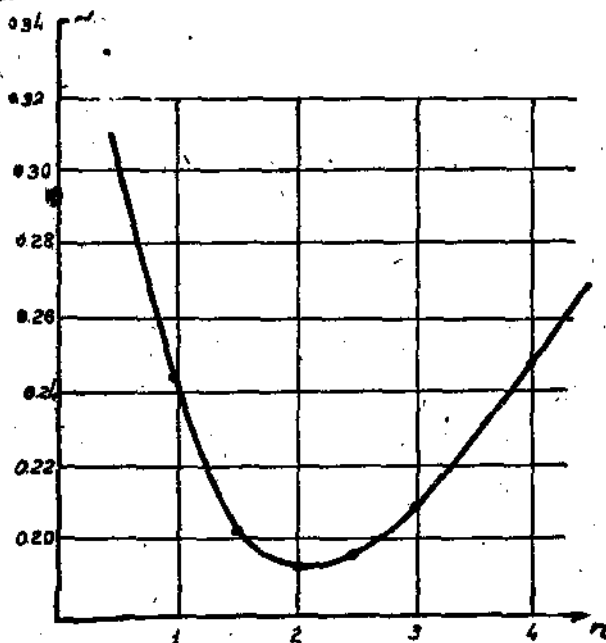


Рис. 36. Кривая пористости отощателя в зависимости от фактора отощателя.

Низкое оптимальное значение n является следствием гранулометрического состава песка. Нами составлен гр. 37 (см. стр. 134).

представляющий систему кривых грануляций смеси для различных значений n . Этот график ясно указывает на провалы в кривых грануляции фракции 0,5—10 мм. Как будет видно из дальнейшего, это обстоятельство не отразилось на качестве бетона, хотя по этому вопросу в литературе имеются разногласия.

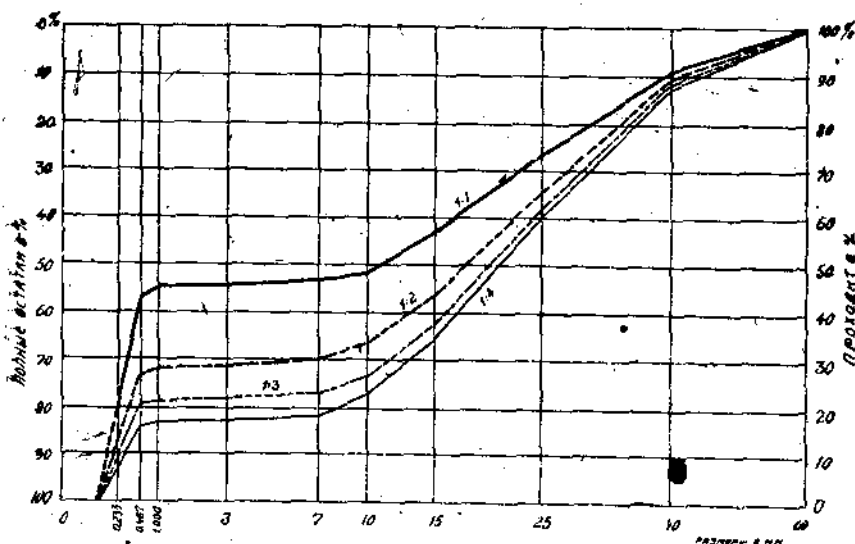


Рис. 37. Кривые грануляции отощателя в зависимости от фактора отощателя.

Следует отметить, что на рисунке 37 шкала d размеров стандартного набора, принятого лабораторией сектора бетонов ЗИС, взята не равномерная ($\sqrt{d}$) с целью уплотнить график и сделать его нагляднее в области малых значений d .

III. Проектирование бетона.

Правильно спроектированный бетон должен прежде всего удовлетворять двум основным и общим требованиям:

- 1) удобству производства работ, что обеспечивается надлежащей консистенцией бетонной массы, отвечающей принятому способу производства работ и
- 2) требуемой прочности, обуславливаемой маркой бетона.

В отдельных случаях к бетону предъявляются еще специальные требования, зависящие от индивидуальных особенностей сооружения.

В задании Темерникстроя именно последние условия являлись наиболее важными, так как требовалось дать состав бетона водонепроницаемого, морозостойкого и т. п., но небольшой расчетной прочности.

Если прочность бетона обеспечивается надлежащим выбором водо-цементного отношения и качествами инертных, то сопротивление бетона воздействию атмосферным и иным реагентам зависит, главным образом, от плотности бетона. В обычных случаях повышение плотности бетона достигается за счет излишнего расхода цемента.

В гидротехнических сооружениях, где требования прочности являются обычно второстепенными, а условие плотности доминирующим, перерасход каждого килограмма цемента тем более недопустим, что именно подобные сооружения в огромном большинстве случаев являются массивами. Помимо того, избыток цемента в гидротехническом бетоне даже вреден: выщелачивание свободной извести, образующейся при твердении цементного камня, приводит к понижению плотности бетона. Повышение же плотности за счет введения пылевидной составляющей приводит к экономии цемента и значительному снижению расхода его.

Наличие в Хапровском песке пылевидных частиц явилось поэтому чрезвычайно благоприятным фактором, позволявшим избежать добавления в бетон пылевидной составляющей. Это обстоятельство в связи с малой требуемой пластичностью бетона (3—5 см. осадки конуса по Абрамсу) привело к необходимости остановиться на соотношении гравия к песку, равном 2,2. Дальнейшее понижение n привело бы нас к перерасходу цемента, так как критическое значение n равно 2; повышение же свыше 2,2 могло бы повлечь расслоение бетона, как это выяснилось при опытных замесах. Повидимому здесь сказывались прорывы в кривых грануляции.

Приводим пример проектирования состава бетона для набережной с осадкой конуса 3—5 см.

Временное сопротивление бетона в данном случае играет второстепенную роль. Чтобы обеспечить достаточную морозоустойчивость необходимо иметь прочность в возрасте 28 дней не менее 80 кг/кв. см. (см. Kleinlogel El nflusse auf Beton). Лучше, однако, несколько повысить R_{28} . Мы остановились на величии $R_{28}=100$ кг/кв. см.

По кривой прочности Новороссийского портландского цемента, находим, что принятой прочности $R_{28}=100$ кг/кв. см.

удовлетворяет цементно-водный фактор $K=1,4$ или водоцементное отношение 0,70.

Однако, по кривой прочности бетона, данной проф. Беляевым, для активности 270 кг/кв. см. в пересчете на активность нашего цемента (257 кг/кв. см.), ожидаемая прочность бетона

$$R_{28} = \frac{257}{270} 147 = 140 \text{ кг/кв. см.}$$

на 40% превосходит намеченную нами на основании кривой прочности цемента. Как видно из дальнейшего, результаты испытания бетона показали полное совпадение проектной прочности, принятой по кривой прочности цемента, с действительной.

Предварительно мы задались расходом цемента 250 кг/м³. Имея в виду назначенный цементно-водный фактор, находим расход воды на куб. м. бетона

$$W = \frac{250}{1,4} = 179 \text{ л.}$$

Округляя величину удельного веса цемента до 3,0 кг/л., получим расход цементного теста на куб. м. в литрах.

$$t = \frac{250}{3} + 179 = 262 \text{ л/м}^3.$$

Проектируемый состав не должен иметь пор, следовательно, для получения куб. м. плотного бетона при заданном выше расходе цементного теста, потребуется массы отождателя $1000 - 262 = 738 \text{ л.}$

Как выше было упомянуто, мы остановились на значении $n=2,2$. Обращаясь к рис. 35 и 36, находим, что этому значению n соответствует коэффициент пористости $\alpha=0,19$ и коэффициент уменьшения объема $r=0,754$. Отсюда определяется объем отождателя, содержащий массу 738 л.

$$V = \frac{738}{1 - 0,19} = 911 \text{ л.}$$

Имея в виду, что полученный объем менее суммы объемов песка и гравия, и пользуясь величиной коэффициента уменьшения объема находим сумму объемов песка и гравия

$$V_1 + V_2 = \frac{V}{0,754} = \frac{911}{0,754} = 1208 \text{ л.}$$

Зная соотношение гравия и песка, равное 2,2 нетрудно найти, что песка потребуется

$$V_1 = \frac{1208}{1 + 2,2} \times 1 = 378 \text{ л.}$$

и гравия

$$V_2 = \frac{1208}{1 + 2,2} \times 2,2 = 831 \text{ л.}$$

Округляя, имеем состав бетона:

Цемент	— 250 кг/м ³
Воды	— 180 л/м ³
Песка	— 380 "
Гравия	— 830 "

Затворяем около 20 л. бетона, набиваем конус Абрамса и измеряем осадку. В данном случае осадка конуса оказалась равной 6 см. и консистенция оказалась слишком пластичной. Поэтому мы изменили расход цемента в сторону уменьшения до 230 кг/м³ и, сохранив, конечно, цементноводный фактор, вычислили заново состав. Второй замес показал осадку конуса 3 см. (в пределах задания), что позволило нам остановиться на составе:

цемента	— 230 кг/м ³
воды	— 164 л/м ³
песка	— 390 "
гравия	— 860 "

Если мы задаемся, как в нашем случае, расходом цемента на куб. м. и значением n , то вычисление объемов песка и гравия прямо производится по формулам:

$$V_1 = \frac{1000 - t}{(1 - \alpha_1) + n \cdot 1 - \alpha_2}$$

$$V_2 = n$$

что значительно упрощает вычисления и не требует наличия кривых α и γ . Покажем этот способ на примере подбора второго состава для Темерникстроя (бетон плиток для отделки дна).

Временное сопротивление, как и в предыдущем случае, принято равным 100 кг/см² (следовательно сохраняется цементно-водный фактор 1.4) при консистенции, допускающей трамбование. Сохраняем принятое значение $n = 2,2$ и назна-

чим расход цемента 210 кг/м^3 ; тогда расход воды $\frac{210}{1,4} = 150 \text{ л}$.

Выход цементного теста, по предыдущему, равен

$$t = \frac{210}{3} + 150 = 220 \text{ л.}$$

При коэффициентах пористости песка $\alpha_1 = 0,46$ и гравия $\alpha_2 = 0,36$, находим расход песка

$$V_1 = \frac{1000 - 220}{(1 - 0,46) + 2,2(1,0 - 0,36)} = 400 \text{ л.}$$

$$V_2 = 400 \times 2,2 = 880 \text{ л.}$$

Пробный замес удовлетворил заданию и состав был принят без изменений:

Цемент	—	210 кг/м ³
Воды	—	150 л/м ³
Песка	—	400 „
Гравия	—	880 „

IV. Изготовление бетона

Образцы $20 \times 20 \times 20$ из запроектированных составов затворялись в бетономешалке (принудительного действия) емкостью 50 л., фирмы Gustaw Eirich, Hardheim.

Смесь сухих материалов перемешивалась в течении $\frac{1}{2}$ минуты, затем вливалась вода и смесь снова перемешивалась в течении $1\frac{1}{2}$ —2 мин.

Формы перед набивкой и после ее взвешивались. Средний вес образца для бетона набережной оказался равным 19,46 кг., что соответствует объемному весу бетона $2,43 \text{ кг/л}$. Теоретический объемный вес бетона при объемных весах песка $\Delta_1 = 1,42$ и гравия $\Delta_2 = 1,73$ должен быть равным

$$\Delta = 0,86 \times 1,73 + 0,39 \times 1,42 + 0,23 + 0,164 = 2,44 \text{ кг/л.}$$

Имея объемные веса бетона в деле и теоретический можно оценить плотность бетона и тщательность его укладки.

Процент пористости бетона

$$\alpha_{\text{бет.}} = \frac{2,44 - 2,43}{2,44} 100 = 0,4\%$$

Средний объемный вес тех же образцов, вынутых по истечении 7 дней из воды (смешанное хранение), равен именно

2,44 и вполне совпадает с теоретическим. Это совпадение подтверждает правильность принятого метода проектирования бетона и тщательность выполнения работ. Подобного рода проверки аппаратом полевой лаборатории являются весьма полезными с точки зрения контроля бетона в производстве работ, позволяя своевременно сигнализировать о неправильностях в ведении работ.

На второй день по изготовлении образцы освобождаются из форм, взвешиваются и укладываются на 6 суток в воду. Испытания производятся на 7 и 28 день. В последнем случае образцы по истечении 6 суток пребывания в воде хранятся 21 день во влажных опилках.

V. Результаты испытаний

а)—Испытание на сжатие производилось на прессе Амслера, развивающем усилие до 60 т. Среднее временное сопротивление бетона для набережной в возрасте 7 дней равно 51,5 кг/кв. см. и в возрасте 28 дней—93 кг/кв. см., что дает вполне допускаемое отклонение от проектного (100 кг/см²). Коэффициент n перехода от 7 к 28-ми дневной прочности по формуле

$$R_{28} = R_7 + n \sqrt{R_7}$$

равен примерно 6.

Бетон состава, предназначенного для плиток дал прочности—7 дней, равную 53 кг/см² и 28 дней—101 кг/см², отклонение от проектной всего 1 кг/см², а коэффициент перехода $n=6,6$.

б)—Испытание на водопроницаемость — по заданию требовалось только для бетона набережной. Уже предварительные испытания бетона 28-ми дневного возраста показали высокую степень плотности бетона. Самое испытание проводилось на аппарате Бухарца, допускающем гидравлическое давление до 20 кг/кв. см. В силу некоторых условий предварительное испытание было начато при давлении 3 кг/кв. см., которое поддерживалось на одном уровне в течении 4 часов, затем давление пришлось повысить до 6 кг/кв. см.; признаки сырости появились на поверхности образца (20×20×10 см.) только через 5 часов. С некоторой осторожностью мы пола-

гали, что для начала просачивания при 3 кг/см^2 потребно 5—6 часов.

Окончательные испытания производившиеся с образцами 56-ти дневного возраста показали, что для появления сырости на поверхности образца при давлении 3 кг/см^2 требуется 9 часов; для появления первых капель воды пришлось опять-таки повысить давление до 5 кг/см^2 и поддерживать его в течение часа.

Если учесть, что минимальная толщина стены в 25 раз превосходит толщину образца, а напор грунтовой воды не превосходит 6 м. ($0,6 \text{ кг/см}^2$), то создается полная гарантия за водонепроницаемость рекомендованного состава.

с) — Испытание на морозостойкость — производились группой строительных камней ЗИС с образцами $20 \times 20 \times 10$ из обоих составов бетона. Испытания производились стандартным путем. Требуемые 25 замораживаний образцы выдержали без малейших признаков разрушения, трещин, отслаивания и др. Однако для полной уверенности нами было предложено повысить число замораживаний до 30, таковые подтвердили высокую морозостойкость рекомендованных составов.

д) — Сопротивляемость истиранию — требовалось определить только для бетона, идущего на изготовление плиток. Испытание на истирание (снasiaемость) велось на приборе Бэме при давлении 25 кг. и длине пути истирания 200 м. При этих условиях полный средний снос образцов оказался равным $0,231 \text{ гр/см}^2$, что соответствует толщине сноса 0,94 мм. По сопротивлению истираемости бетон приближается к мраморам. Эталон принятый ЗИС показывает снос в граммах 0,058, соответствующий толщине снятого слоя 0,23 мм., т. е. в 4 раза менее бетона. Повышение сопротивления истиранию возможно достигнуть за счет повышения временного сопротивления бетона. Мы отказались от этого пути, учитывая, что повышение сопротивляемости истиранию нецелесообразно в виду небольшой донной скорости (не превышающей 3 м/сек.)

Весьма важно отметить, что при испытании на изнашиваемость сравнительно сильно истирается кварцевый гравий, что подтверждает достаточную сопротивляемость бетона истиранию и нецелесообразность повышения временного его сопротивления.

Техническое задание.

И соглашению Темерникстроя с ЗИС от 5 апреля 1931 года на работу по проектированию состава бетона.

1. Поручаемые Темерникстроем ЗИС'у работы имеют своей целью установить наиболее рациональный состав бетона для стенок набережной и плит для укрепления дна, который удовлетворяя требованиям максимальной экономичности, как в смысле расхода цемента, так и стоимости бетона, в то же время являлся бы морозостойкими, водонепроницаемым и успешно сопротивлялся бы вредному влиянию грунтовых вод

Требования прочности бетона в данном случае имеют второстепенное значение, так как расчетные напряжения в бетонной кладке набережных не превосходят следующих величин:

на сжатие	— 2,5 кг/см ²
на растяжение	— 0,6 "
на скалывание	— 0,6 "

Бетон в плитах должен успешно сопротивляться истиранию наносами, влекомыми рекою.

2. Общий объем работ, выполняемых ЗИС по настоящему заданию, включает в себя следующие главнейшие части:

- а) изучение составных частей бетона: порланд-цемента (марки 0), гидравлической добавки (трепел), песка и камневидной;
- б) подбор состава бетона для массивных частей сооружений на основании изучения материалов с испытаниями на водонепроницаемость, морозостойкость и воздействие грунтовых вод;

- в) подбор состава бетона для частей, изготавливаемых заводским путем (крепление дна), с испытаниями на истирание и морозостойкость.

3. Все бетонные сооружения Темерникстроя относятся к II-му классу.

4. Бетон для массивных частей должен иметь консистенцию, измеряемую осадкой нормального конуса в пределах 2—5 см.

Временное сопротивление бетона этого состава ориентировочно принимается 140 кг/кв. см., однако указанная норма может быть снижена при условии достаточной морозостойкости. Бетон этого состава должен обладать достаточной водонепроницаемостью, имея в виду вредное влияние грунтовых вод при условии давления воды до 1 атмосферы. При проектировании бетона следует учесть возможность включения в бетонную кладку песчаникового бута в количестве 12%—15% от объема ее.

Изготовление бетона будет производиться бетоновёрками с отмериванием цемента и трепела по весу, а инертных по объёму с подвозкой готового бетона в вагонетках на расстоянии до 200 метров.

5. Бетон для плиток, изготавливаемых заводским путем должен иметь консистенцию, допускающую трамбование при укладке в формы. Временное сопротивление бетона данного состава ориентировочно принимается в 140 кг. на кв. см., но также может быть снижено при условии сохранения достаточной морозостойкости и сопротивления истиранию.

Следует указать, что максимальная донная скорость не превысит 3,1 м/с.

6. В качестве составных частей бетона намечены:

- а) портланд-цемент—новороссийских заводов (марка 0);
- б) гидравлическая добавка—трепел со ст. Кутейниково, Дон. ж. д.;
- в) песок—карьерный со ст. Хапры, Дон. ж. д.;
- г) гравий—Кубанский со ст. Армавир и Коноково, С.-К. ж. д. дор.;
- д) вода—из Ростовского водопровода.

7. Вследствие того, что возможность получения Темер-

никстроем трепела еще не выяснена, то работа по проектированию бетона разбивается на 2 очереди:

В первую очередь включаются работы:

- а) по испытанию портланд-цемента, песка и гравия;
- б) по изучению отошателей;
- в) по подбору состава бетонов для набережной и крепления дна на обычном портланд-цементе.

Во вторую очередь включаются работы:

- а) по исследованию трепела;
- б) по подбору бетонов для набережной и укрепления дна на портланд-цементе с добавлением трепела.

Примечание: В случае получения ЗИС трепела одновременно с остальными составляющими бетона, работы обеих очередей объединяются, но объем их уменьшается за счет исключения работ, указанных в первой очереди под литером В.

Пом. Нач. строительства Инженер *Наумов.*

Старший Инженер *П. Преображенский.*

НОМОГРАММЫ

инженера В. В. Михайлова

для прямого проектирования состава бетона.

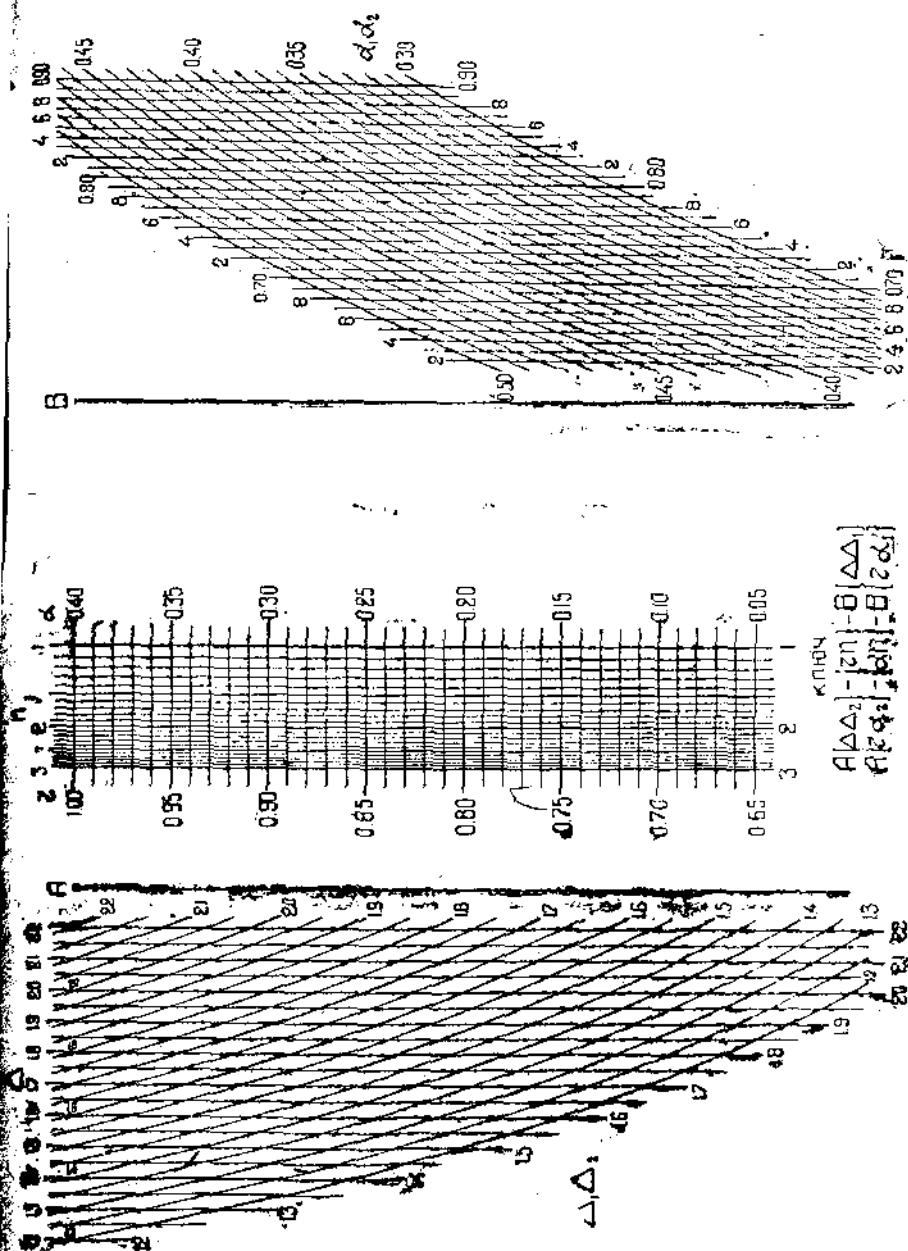


Рис. 38. Номограмма для изучения отощателя.

Пользование номограммами инж. В. Михайлова.

Приводим пример пользования номограммами инж. В. Михайлова для конкретного случая проектирования состава бетона (Темерникстрой).

Предварительно были определены объемные веса песка ($\Delta_1=1,42$) и гравия ($\Delta_2=1,73$) в стандартном состоянии, а также коэффициенты пористости $\alpha_1=0,46$ для песка, $\alpha_2=0,36$ (для камневидной). Путем смешивания песка и гравия в отношении 1:п при утряхивании смеси, получены были величины объемного веса смесей (Δ) в функции фактора отощателя (п).

п=	0	1	2	3	4
Δ =	1,62	2,04	2,175	2,12	

Покажем, как можно с помощью номограммы определить значения γ и α при заданном п и известном объемном весе смеси с тем же фактором отощателя п.

Например для значения $p=2$ проводятся следующие манипуляции.

На левой бинарной шкале отыскивается точка ($\Delta=2,175$, $\Delta_2=1,73$); снося полученную точку на шкалу А, отмечаем точку a_1 ; вполне аналогично получается точка b_1 путем сноса точки ($\Delta=2,175$, $\Delta_1=1,42$) на шкалу В; на пересечение прямой $a_1 b_1$ с вертикалью $p=2$ (средней бинарной шкалы) отмечается точка p_1 , а снося p_1 на вертикаль γ отсчитываем искомое значение $\gamma=0,747$.

Для определения α пользуются правой бинарной шкалой и найденным значением γ . На шкале отыскиваем точки ($\alpha_2=0,36$, $\gamma=0,747$) и ($\alpha_1=0,46$, $\gamma=0,747$) и сносим первую из этих то-

чек на шкалу А, а вторую на шкалу В; соседние точки а, шкалы А и в, шкалы В, отмечаем точку пересечения этой прямой с вертикалью $n=2$ средней бинарной шкалы (n_1) и, снося ее на вертикаль α , прочитываем значение $\alpha=0,19$.

Найдя таким образом нужное число пар значение α и r можно построить кривые α и r в функции фактора смещения n (см. рис. 35 и 36).

Переходя к номограмме для проектирования состава бетона при построенных кривых α и r , отметим, что основания, послужившие причиной выбора в рассматриваемом случае значение фактора смещения $n=2,2$ изложены выше.

Метод проектирования основан на упрощенном способе, исходя из задания расхода цемента на куб. м., в данном случае равный 230 кг/м^3 . Для общности нами приводится пример проектирования, исходя из назначения коэффициента заполнения φ . Запроектированный для набережной состав бетона имел коэффициент $\varphi=1,35$; для получения сравнимых результатов мы и будем исходить из этого значения.

По кривой α (рис. 36) фактору смещения $n=2,2$ соответствует $\alpha=0,19$, а по кривой r значение $r=0,75$.

На левой бинарной шкале отыскиваем точку ($\alpha=0,19$, $\varphi=1,35$) и сносим ее на шкалу V. Соединяя полученную точку (V_1) с точкой $r_1=0,75$ шкалы r , отмечаем пересечение прямой $V_1 r_1$ со шкалой А в точке a_1 . Проводим прямую $a_1 n_1$, беря n_1 на нижней половине шкалы n и прочитываем на шкале V объем песка $V_1=390 \text{ л}$. Вполне аналогично, соединяя точку a_1 с точкой $n_1=2,2$ верхней половины шкалы n , прочитываем на шкале V объем гравия $V_2=860 \text{ л}$.

Обращаясь к средней бинарной шкале, отыскиваем точку ($\alpha=0,19$, $\varphi=1,35$) и сносим ее на шкалу А, отмечая точку a_1 . Величина цементно-водного фактора $K=1,4$ назначалась, конечно, из условия прочности. Беря точку $K=1,4$ на правой половине шкалы K и соединяя ее с точкой a_1 , прочитываем на ZW расход воды $W=163 \text{ л/м}^3$. Точно также, соединив точку $K=1,4$ левой половины шкалы K с точкой a_1 , прочитаем на шкале ZW расход цемента 228 кг/м^3 . Состав полученный вычислением дал для цемента цифру 230, а для

воды 164. Расход песка и гравия, полученный вычислением совпал точно.

Для облегчения пользования номограммами (во избежание необходимости запоминания порядка манипуляций) внизу номограмм помещены так называемые „ключи“. Рассмотрим, например, ключ к номограмме для проектирования состава:

$$\begin{array}{l} V(\varphi\alpha) - A - Z \\ \left. \begin{array}{l} n \text{ нижнее} - V_1 \\ n \text{ верхнее} - V_2 \end{array} \right\} - A \\ \left. \begin{array}{l} Z \\ A(\varphi, \alpha) - W \end{array} \right\} - K \text{ лев.} \\ \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} - K \text{ прав.} \end{array}$$

Крайние обозначения представляют точки (на соответствующих шкалах) или известные или полученные из предыдущих действий; на пересечении прямых, проведенных через точки на шкалах крайних обозначений, со шкалой среднего обозначения лежит значение искомой величины. Обозначения, содержащие в скобках пару значений переменных, указывают на наличие бинарной шкалы. Следовательно ключ, приведенный выше раскрывает порядок отсчетов:

1. Точка $(\varphi\alpha)$ бинарной шкалы V соединяется с точкой r шкалы r . На пересечении прямой проведенной через точки шкал V и r со шкалой A , лежит результат отсчета (немая шкала), представляемой точкой a .

2. Точка a (полученная в 1 действии) соединяется с точкой:

а) n_1 —на нижней половине шкалы; тогда на шкале V найдем результат измерения (объем песка).

б) n_2 —на верхней половине шкалы, тогда на шкале V прочитаем результат (объем гравия).

3. Точка (φ, α) бинарной шкалы перенесенная на шкалу A соединяется с точкой:

а) K_2 на левой половине шкалы K ; тогда на шкале ZW прочитаем результат (расход цемента);

б) K_1 на правой половине шкалы K ; тогда на шкале ZW прочтем результат (расход воды).

Навык в пользовании ключом, а затем и номограммой достигается весьма быстро.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

Прямой метод проектирования состава бетона.

В этом методе, как и упрощенном изучаются первоначально: цемент, песок, камневидная и отощатель в зависимости от фактора отощателя.

Далее в упрощенном методе отыскивается оптимальный фактор отощателя. а в разбираемом методе продолжается дальнейшее изучение и строится прямая минимума расхода цементного теста t и сопряженная прямая коэффициентов уплотнения бетона φ . Если на одном и том же отощателе приходится проектировать несколько составов бетона, то прямой метод проектирования особенно целесообразен. В результате изучения отощателя, мы имеем две прямые, позволяющие уверенно проектировать составы бетонов заданной прочности и консистенции.

Детальное описание работ по проектированию с необходимыми техническими указаниями дано в „Проектировании состава бетона обделки напорного тоннеля Аджарис-Цхальской Гидроэлектростанции“.

Здесь мы ограничимся лишь пояснением как кривая грануляции может быть использована для нахождения удельной поверхности не только графоаналитически, но и путем подсчета.

Кривая грануляция позволяет нам разбить объем отощателя V на ряд объемов $V_1, V_2, \dots, V_i$ со средней величиной зерна $d_1, d_2, \dots, d_i$.

Объем каждого зерна можно выразить через куб его величины

$$V_0 = \eta d_0^3.$$

где η — коэффициент, зависящий от строения зерна.

С достаточной для расчета точностью мы можем допустить, что коэффициент η один и тот же для всех зерен отощателя. Тогда

$$\left. \begin{aligned} V_1 &= n_1 \eta d_1^3 \\ V_2 &= n_2 \eta d_2^3 \\ V_i &= n_i \eta d_i^3 \end{aligned} \right\} 1.$$

где n —число зерен во фракции.

При помощи системы уравнений 1, мы можем найти среднюю величину отощателя. Под средней величиной мы понимаем ту величину, которую имели бы зерна, если бы все они были одинаковы, при чем число их в объеме V осталось бы без изменения. Согласно нашего определения

$$V = n \eta \cdot D^3 \dots \dots \dots (2)$$

где n —число зерен отощателя.

D —средняя величина зерна.

Деля обе стороны системы уравнений (1) на $d_1^3, d_2^3 \dots$ имеем

$$\frac{V_1}{d_1^3} = \eta \cdot n_1$$

$$\frac{V_2}{d_2^3} = \eta \cdot n_2$$

$$\frac{V_i}{d_i^3} = \eta \cdot n_i$$

Просуммировав правые и левые части равенств имеем:

$$\frac{V_1}{d_1^3} + \frac{V_2}{d_2^3} + \dots \frac{V_i}{d_i^3} = \eta (n_1 + n_2 + \dots n_i) \dots \dots (3)$$

Согласно нашего определения

$$n = n_1 + n_2 + \dots n_i \dots \dots \dots (4)$$

Следовательно

$$n \eta = \frac{V_1}{d_1^3} + \frac{V_2}{d_2^3} + \dots \frac{V_i}{d_i^3} \dots \dots \dots (5)$$

Подставляя (5) в (2) имеем

$$V = n \cdot \eta \cdot D^3 = D^3 \left(\frac{V_1}{d_1^3} + \frac{V_2}{d_2^3} + \dots \frac{V_i}{d_i^3} \right) \dots$$

Следовательно

$$D = \sqrt[3]{\frac{V}{\frac{V_1}{d_1^3} + \frac{V_2}{d_2^3} + \dots + \frac{V_i}{d_i^3}}} \dots \dots \dots 7)$$

Сравним результаты графоаналитического подсчета с результатами подсчета по формуле (7).

Возьмем в качестве примера определение поверхности щебня Аджарис-Цхали (см. стр. 170).

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = 0,2 \text{ V}$$

$$d_1 = 25 \text{ мм.}, d_2 = 40 \text{ мм.}, d_3 = 49 \text{ мм.}, d_4 = 58 \text{ мм.}, d_5 = 72 \text{ мм.}$$

$$\begin{aligned} D &= \sqrt[3]{\frac{5}{\left(\frac{1}{25}\right)^3 + \left(\frac{1}{40}\right)^3 + \left(\frac{1}{49}\right)^3 + \left(\frac{1}{58}\right)^3 + \left(\frac{1}{72}\right)^3}} = \\ &= 72 \sqrt[3]{\frac{5}{\left(\frac{72}{25}\right)^3 + \left(\frac{72}{40}\right)^3 + \left(\frac{72}{49}\right)^3 + \left(\frac{72}{58}\right)^3 + 1}} = \\ &= \sqrt[3]{\frac{5}{23,7 + 15,8 + 3,17 + 1,92 + 1}} = 35 \text{ миллиметров.} \end{aligned}$$

Средняя величина зерна щебня равна 35 мм.

Угловатость щебня мы учитываем коэффициентом 8, следовательно искомая удельная поверхность определится из отношения:

$$\frac{8}{35} = 0,22 \frac{\text{мм}^2}{\text{мм}^3} = 228 \frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}$$

Графоаналитическое определение дало—200 м²/м³.

Совпадение результатов достаточно близкое, если учесть неточность работы.

Графический метод требует меньше выкладок, проще и нагляднее.

Работа по Аджарис-Цхали, иллюстрирующая прямой метод проектирования, проведена инженером М. С. Айдиняном.

Проектирование бетона обделки напорного тоннеля Аджарис-Цхальской гидростанции*.

По договору, заключенному 7/III 1932 г. между ЗИС'ом и Управлением работ по постройке Аджарис-Цхальской гидростанции сектору бетонов ЗИС'а были поручены работы по подбору состава бетона для облицовки напорного тоннеля названной гидростанции.

Технические условия, которым должен удовлетворять бетон, определяются следующими требованиями договора:

- § 1. „Проектирование для облицовки напорного тоннеля „АджЭС'а“ бетон марки № 2 ($R_{28} = 110 \text{ кг/см}^2$) пластичной консистенции. Водонепроницаемость определяется: максимальным статическим давлением над осью тоннеля—3 атм. и максимальное динамическим давлением при ударах длительностью 3—4 минуты—1,5 атм., т. е. общее давление до 4,5 атм.“.

Таким образом работа по проектированию состава бетона для АджЭС'а, выполняемая Сектором бетонов Закавказского Института Сооружений, имела целью рациональное проектирование бетона на основе новейших научных воззрений на бетон, с учетом особенностей работы сооружения.

Материалы для проектирования состава бетона были доставлены со строительства в достаточном количестве и прибыли в лабораторию в прочных ящиках в хорошем состоянии.

Цемент также прибыл в хорошо упакованном ящике. На строительство же цемент доставлялся с Грузинского цементного завода навалом. Цемент подвергся в лаборатории Сектора бетонов тщательному изучению.

*) Работа выполнена М. С. Айдинном.

ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ

ЦЕМЕНТ (Грузинский).

Таблица 1.

№№	Наименование испытаний	Результат	Примеч.
1	Сроки схватывания		
	а) начало	2 ч. 55 мин.	
	б) конец	5 ч. 45 мин.	
2	Равномерность изменения объема		
	а) горячая проба	удовлетворит.	
	б) проба в воде	"	
3	Нормальная густота в %/о		
	а) цементного теста	28,5%	
	б) раствора 1:3 с вольским песком	7,5%	
	в) раствора 1:3 с кобулетским стандартиз. песком	9%	
	г) раствора 1:3 с рабочим песком	11%	

Временное сопротивление растяжению

Таблица 2

Наименование прочн. и норм. ОСТ	Чистый цемент 1:0 при норм. густ. теста 28,5% воды			Раствор 1:3 с вольским песком при норм. густ. 7,5% воды			Раствор 1:3 с кобулетским стандартиз. песком при норм. густ. 9% воды			Раствор 1:3 с рабочим песком (АцГЭ) при норм. густ.		
	4	7	28	4	7	28	4	7	28	4	7	28*
Требуемые ОСТ												
1309 „0“	20,0	25,0	35,0	10,0	12,0	16,0	—	—	—	—	—	—
Требуем. ОСТ „00“	25,0	30,0	45,0	12,0	16,0	25,0	—	—	—	—	—	—
Полученные прочн-ности	31,5	42,0	45,1	—	19,0	—	20,9	23,8	26,8	21,5	28,6	28,7

* Возраст в днях.

Временное сопротивление на сжатие

Таблица 3.

Наименование прочн. и норм. ОСТ	Раствор 1:3 с вольским песком при норм. густ. 7,5% воды			Раствор 1:3 с Кобулетским стандартизован- ным песком при норм. густ. 9% воды			Раствор 1:3 с рабочим песком (АцГЭС'а) при норм. густоты 11% воды		
	4	7	28	4	7	28	4	7	28*
Требуемые ОСТ									
1309 „0“	70	100	160	—	—	—	—	—	—
Требуем. ОСТ „00“	120	180	275	—	—	—	—	—	—
Полученные проч- ности	—	261,0	—	225,0	216,5	248,5	198,0	207,5	232,5

Из сравнения полученных результатов с требованиями, предъявляемыми ОСТ 1309 видно, что исследуемый цемент значительно превышает требования к обыкновенному п.-цементу (марки „0“) и подходит к п.-цементу повышенных качеств „00“, что дало основание признать цемент вполне удовлетворительным по качествам.

ПЕСОК.

Песок добывается на месте в русле реки.

Гранулометрический анализ песка с точки зрения „идеальных“ кривых совершенно неудовлетворителен. (См. рис. 40).

Анализ кривой грануляции песка указывает, что песок содержит большое количество мелких частиц: более 80% проходит через сито 1 мм.

Объемный вес песка в стандартно рыхло насыпанном состоянии определен в 1 литровом мерном сосуде и равен 1,56.

Пористость песка равна 0,406; повышенная пористость обуславливается гранулометрическим составом, о котором говорилось выше. Подобные пески требуют улучшения состава тем или иным путем; в противном случае необходимо

*) Возраст в днях.

повышать расход цемента на 1 кубометр бетона для получения соответствующей консистенции.

Реакция Абрамса на загрязнение органическими примесями показала чистоту песка, допускающую применение его для ответственных бетонных и железобетонных сооружений.

В отношении же содержания илистых частиц песок показал несколько повышенную илистость—6⁰/₀ вместо допускае-

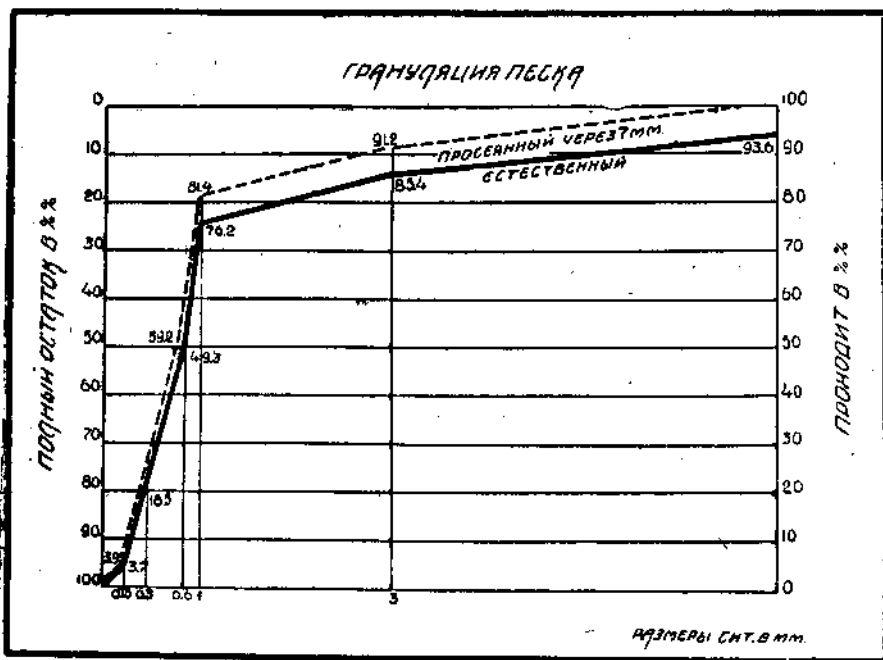


Рис. 40. Кривые грануляции песка из русла реки Аджарис-Цхали
 ——— песок сеянный.
 ——— песок несеянный.

мых нормами 5⁰/₀. Определение содержания илистых и глинистых частиц производилось путем отстаивания взмученного песка в мензурке.

Для уверенности в качествах песка, произведено сравнение механической прочности образцов из раствора 1:3:

а) с нормальным вольским (односитным) песком;

- б) с кобулетским стандартизованным песком;
- в) с рабочим (АцГЭС'а) песком.

Результаты сравнения приведены в таблицах № 2 и № 3. Для отчетливости понимания таблиц следует иметь в виду, что различие в прочностях образцов с вольским, кобулетским и рабочими песками всегда имеет место из-за различной нормальной густоты растворов, определяемой по методу, принятому ОСТ 1310. Для возможности сравнения различных песков нами производится пересчет нормальной густоты, определяемой при помощи копра, на цементно-водные факторы.

Так как рост прочности с увеличением цементно-водного фактора следует закону прямой линии, то умножая действительные прочности на отношения цементно-водных факторов растворов с нормальным и испытуемым песком, мы получаем возможность сравнивать пески при одном и том же цементно-водном факторе и работе трамбования.

Так, из таблицы № 1 видно, что нормальная густота раствора 1:3 с вольским нормальным песком получается при 7,5% воды, а нормальная густота раствора с рабочим песком при 11%. Таким образом для достижения одной и той же густоты воды потребовалось на 3,5% больше при работе с песком Ац-ГЭС'а. При переводе на цементно-водные факторы имеем: в первом случае (с вольским песком) $\frac{ц}{в}=3,33$, а во втором случае (с рабочим песком) $\frac{ц}{в}=2,27$. Искомый коэффициент получается из отношения $\frac{3,33}{2,27}=1,47$.

Рассматривая под этим углом зрения таблицы № 2 и № 3 не трудно убедиться в удовлетворительности механических качеств песка.

Но, как уже было указано выше, гранулометрический состав его неудовлетворителен и на эту сторону обращено внимание строительства. Простой экономический подсчет покажет, выгодность улучшения песка добавлением более крупного, хотя бы искусственного и эта мера вполне оправдывает себя, как в отношении экономии цемента и повышении качеств бетона, так и облегчения контроля над качеством.

ЩЕБЕНЬ.

В лабораторию бетонов был доставлен со строительства щебень 2-х крупностей, который по условию изучался нами, будучи смешан в пропорции 1:1. Это условие было продиктовано строительством, вероятно, из желания использовать имеющиеся равные запасы щебня.

Объемный вес щебня получился—1,27.

Пористость его —0,50.

Ниже приведена кривая грануляции щебня.

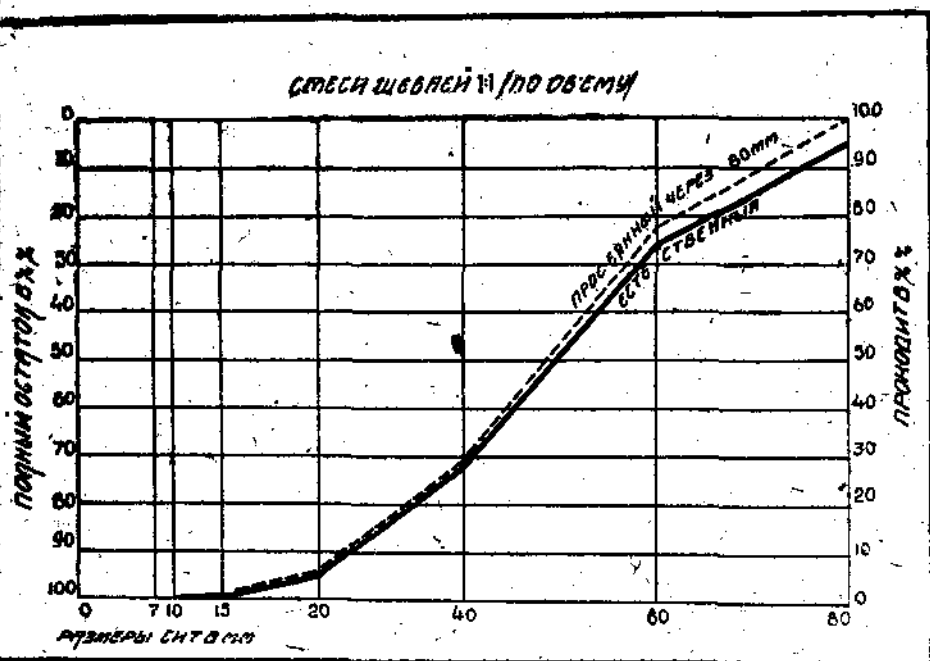


Рис. 41. Кривые грануляции щебня из выемки тоннеля Аджарис-Цхали

— — — щебень сеянный
 — щебень несеянный.

Из кривой грануляции щебня видно, что щебень содержит частиц остающихся на сите 40 мм. более 70%.

Такой гранулометрический состав щебня существенно осложнил задачу подбора состава бетона, но еще больше затруднений вызовет при контроле над качеством бетона. И

если для улучшения гранулометрического состава песка требуются дополнительные затраты, то для улучшения щебня достаточно тщательнее дробить его или же заменить щеки дробилки.

Что же касается механических качеств, то они не подверглись изучению, вследствие их очевидности т. к. щебень дробится из материала выемки тоннеля—твердой изверженной породы.

ОТОЩАТЕЛЬ.

Большая работа была проведена нами по изучению отощателя. Проведение этой работы вызывалось следующими соображениями.

Качество бетона зависит не только от качеств его составных частей, но и от соотношения их в бетоне. Весовое соотношение между количествами цемента и воды (цементно-водный фактор) при данных качествах инертных, в большой степени определяет механическую прочность бетона и влияет на консистенцию цементного теста.

Далее, соотношение между объемами цементного теста и отощателя (данного гранулометрического состава) определяет консистенцию бетонной массы.

С другой стороны и при постоянстве отношения цементное тесто отощатель консистенции бетона является функцией гранулометрического состава отощателя, или иначе соотношением между количеством зерен разной крупности.

Нужно иметь в виду, что рассев песка и гравия (или щебня) на фракции с последующим смешением, отвечающим идеальным кривым Фуллера, Графа и др. затруднителен, дорог и требует большой затраты времени и рабсилы и в условиях АцГЭС'а не применим.

Наиболее простым способом достижения минимума расхода цементного теста, а следовательно и цемента, является подбор оптимального соотношения между песком и камневидной в отощателе.

Для каждой пары песка и гравия (или щебня) существует такое отношение объема гравия к песку (фактор ото-

щателя), при котором смесь имеет наименьшее количество пустот. Это отношение объемов называется нами в дальнейшем „критический фактор отощателя“.

Для получения плотного и водонепроницаемого бетона необходимым условием является достижение минимальной пористости его.

Необходимо следовательно, заполнить все поры отощателя, что требует известного расхода цементного теста; и затратить еще некоторое количество цементного теста, для связывания между собой частиц отощателя.

Минимум расхода цемента на кубометр бетона будет достигнут, когда расход цементного теста на заполнение пор и смазку отощателя будет наименьшим при сохранении заданного цементно-водного фактора и требуемой консистенции бетона.

Минимум расхода цементного теста не совпадает с минимумом пустот отощателя.

Идя в сторону повышения величины n (фактор отощателя) против критического значения, мы увеличиваем пористость смеси, но одновременно уменьшаем удельную поверхность отощателя, так как с увеличением среднего размера зерна смеси поверхность его, отнесенная к единице объема уменьшается. Понижением же фактора отощателя ниже критического увеличиваются одновременно и пористость смеси и удельная поверхность ее. Совершенно очевидно, что общий расход цементного теста в последнем случае возрастет по сравнению с критическим. Сказанное выше можно усмотреть из сравнения кривой пористости (α) с кривой удельной поверхности (β). См. сводный график (стр. 177, рис. 49).

С увеличением n растет расход теста, идущего на заполнение пор, но уменьшается доля расхода теста, идущего на смазку. Ясно, что минимум расхода теста не может совпадать с минимумом пустот, отвечающему критическому значению n , но будет иметь место при некотором значении фактора отощателя n , превышающим критическое.

Для выявления оптимального значения n нами предварительно определяются: объемные веса песка и щебня, пустотность их и кривая грануляции. Работа эта проводится

по инструкции. Далее переходим к изучению отощателя.

На железном бойке тщательно перемешивается смесь песка с щебнем в определенном объемном соотношении. Далее смесью наполняется жестяной мерный сосуд объемом 10 литров, излишек удаляется линейкой и путем взвешивания определяется объемный вес смеси. Каждое определение производится не менее 3-х раз.

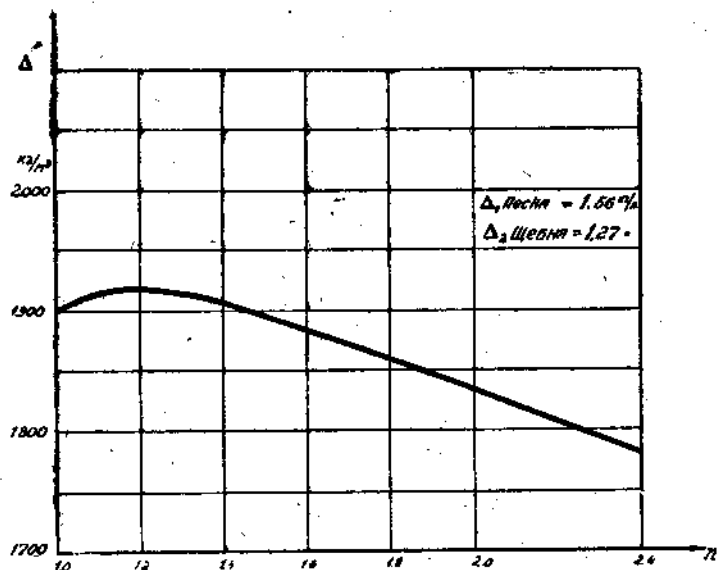


Рис. 42. Объемный вес отощателя в зависимости от фактора отощателя.

Что касается значений n —фактора отощателя, то нами было взято 7 точек: 1,0, 1,2, 1,4, 1,6, 1,8, 2,0 и наконец 2,4.

Результаты определений объемного веса смеси обрабатываются по методу отыскания вероятных пределов измеряемой величины и по полученным значениям Δ объемного веса смеси, строятся изменения объемного веса в функции фактора отощателя n .

Эта кривая дана на графике № 42.

Пользуясь кривой объемного веса можно аналитически вычислить другие характеристики отощателя и представить их графически. Ниже на графиках №№ 43 и 44 показаны кри-

вые коэффициента пористости (z) и уменьшения объема (r) в функции n .

Вычисление величин приведено в таблице № 4.

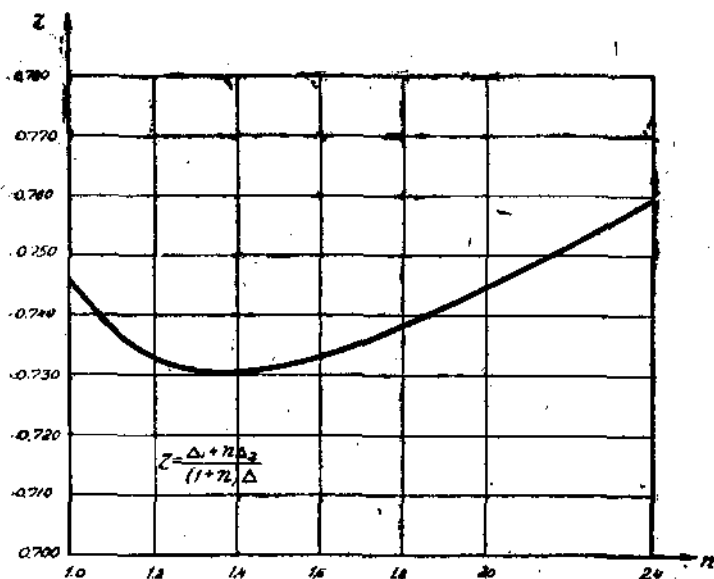


Рис. 43. Кривая уменьшения объема отощателя при смешивании в зависимости от фактора отощателя.

Коэффициент уменьшения объема при смешивании определяется по формуле:

$$r = \frac{\Delta_1 + n\Delta_2}{(1+n)\Delta}$$

где Δ_1 — объемный вес песка.

Δ_2 — объемный вес щебня

Δ — объемный вес смеси (отощателя)

n — «фактор отощателя».

В нашем случае $\Delta_1 = 1,56$, $\Delta_2 = 1,27$ и формула для определения r принимает вид

$$r = \frac{1,56 + 1,37 n}{(1 + n) \Delta}$$

Числитель этой дроби может быть вычислен заранее, когда мы наметили точки n , а знаменатель зависит от ре-

зультатов определения объемного веса смеси. Расположение выкладок показано в сводной таблице. В первой строке наносятся значения n . В нашем случае $n = 1,0 - 1,2 - 1,4 - 1,6 - 1,8 - 2,0 - 2,4$. Шаг изменения n в 0,2 вполне достаточен. Последние два значения $n = 2,0$ и 2,4 взяты не столько для проектирования состава бетона АЦЭС'а, сколько для выяснения вопроса теоретического порядка.]

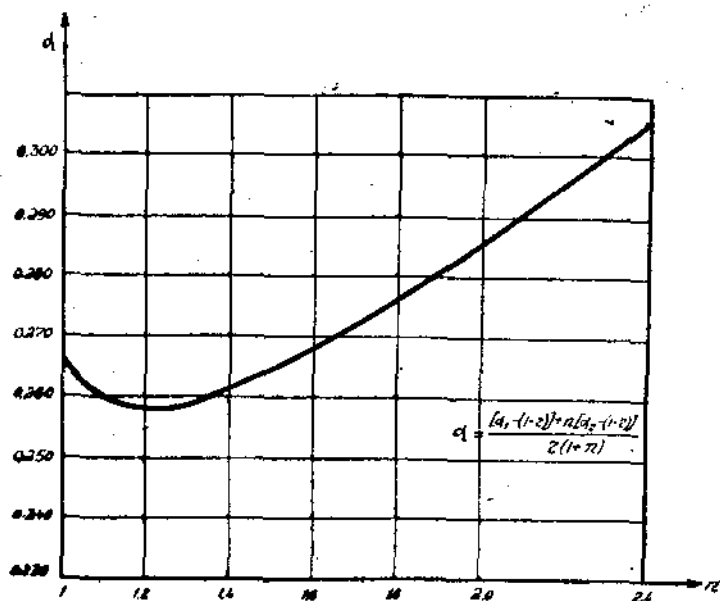


Рис. 44. Кривая пустотности отощателя в зависимости от фактора отощателя.

Во второй строке записываются значения объемного веса отощателя Δ , имеющие решающее значение, т. к. по величине Δ определяется коэффициент уменьшения объема γ и пустотность отощателя α . В третьей строке заранее вписываются величины 1,27 л. В четвертой строке эти же величины увеличенные на 1,56 что дает числитель дроби.

В пятой строке выписываются значения $1+n$. Шестая строка $(1+n) \Delta$ подсчитывается по определению Δ .

В седьмой строке выписываются значения γ получаемые делением чисел строки IV на числа строки VI.

Имея значения коэффициентов r , переходим к определению коэффициентов пустотности α . Коэффициент пустотности α определяется по формуле

$$\alpha = \frac{[\alpha_1 - (1-r)] + n [\alpha_2 - (1-r)]}{r(1+n)}$$

В нашем случае формула принимает вид

$$\alpha = \frac{[0,406 - (1-r)] + n [0,500 - (1-r)]}{r(1+n)}$$

Значения $1-r$ выписываются в VIII строчке.

Далее в строке IX, [X и XI] записываются последовательно $0,406 - (1-r)$, $[0,500 - (1-r)]$ и $n [0,500 - (1-r)]$. Суммированием чисел строки IX и XI получаем числитель дроби для определения α . Значения числителя заносятся в строку XII. Для получения знаменателя дроби умножаются значения чисел строк V и VII. Величины знаменателя выписываются в строке XIII. Деля числа строки XII на соответствующие числа строки XIII получаем искомые коэффициенты пустотности α , которые и выписываем в строке XIV.

Кривая α обладает минимумом соответствующим значению $n=1,2$.

Для нахождения оптимального значения n , то есть того фактора отошателя, при котором расход цементного теста на кубометр бетона требуемой прочности и консистенции будет минимальным, нам нужно построить кривую удельной поверхности отошателя.

Величина удельной поверхности отошателя определяется по формуле:

$$U = \frac{U_1(1-\alpha_1) + n U_2(1-\alpha_2)}{(1-\alpha_1) + n(1-\alpha_2)}$$

где U_1 — удельная поверхность песка

U_2 — удельная поверхность щебня.

В нашем случае

$$\begin{aligned} U &= \frac{(1-0,406) U_1 + (1-0,500) n U_2}{(1-0,406) + n(1-0,500)} = \\ &= \frac{0,594 U_1 + 0,500 n U_2}{0,594 + 0,500 n} \end{aligned}$$

Величина U подсчитывается просто, когда известны удельные поверхности песка и камневидной.

Остановимся на определении этих величин.

Под удельной поверхностью мы понимаем величину поверхности зерен отощателя, отнесенную к об'ему тела этих зерен.

Если мы обозначим величину поверхности зерен F , об'ем V , пустотность α , то

$$U = \frac{F}{V(1-\alpha)}$$

Так как об'ем растет с кубом измерения тела (для шара $V = \frac{\pi d^3}{6}$), а поверхность с квадратом (для шара $F = \pi d^2$), то удельная поверхность, т. е. отношение поверхности к об'ему падает с ростом измерения тела.

Чем больше величина зерна, тем меньше его удельная поверхность.

Пустотность отощателя и его удельная поверхность являются основными интересующими нас факторами.

Кривая грануляции, показывающая зерновой состав отощателя, используется нами для построения кривой удельной поверхности.

В этом и кроется ее значение для проектирования состава бетона.

Поясним построение удельной поверхности на нашем примере. Начнем с построения удельной поверхности щебня, как с более простой операции (см. рис. 45, стр. 170).

Из кривой грануляции видно, что размер зерен щебня колеблется в пределах от 15 мм. до 80 мм. Кривая грануляции показывает разбивку зерен по величине зерна. В нашем случае приняты сита 15, 25, 40, 60 и 80 мм., но набор сит играет случайную роль. Разоб'ем отощатель на равные по об'ему части и выясним, чему равна средняя величина зерна каждой такой части. Мы разбили об'ем на 5 равных частей, проведя 4 параллели оси абсцисс. Между двумя параллельными содержится 20% всего об'ема. Абсциссы начала и конца участка показывают минимальную и максимальную величину зерна в отделенном об'еме. Мы можем допустить, что сред-

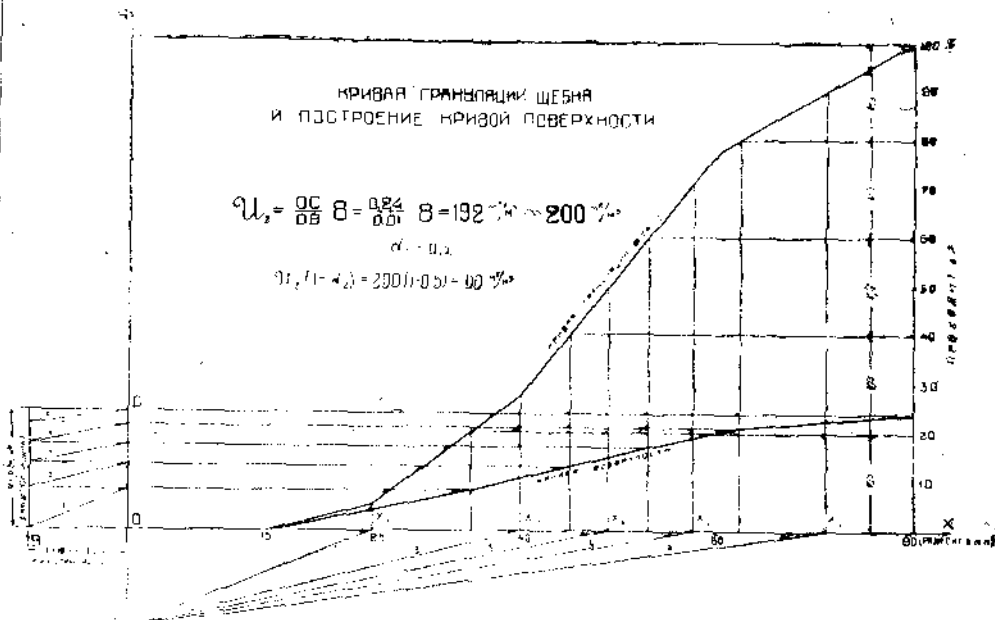


Рис. 45. Кривая грануляции щебня и построение кривой удельной поверхности.

няя величина зерна рассматриваемого участка равна полусумме минимального и максимального зерна. Нашим построением мы разбили весь объем отошателя на пять равных частей с пятью средними величинами зерен. Объемы отошателей равны, но поверхности их разные, так как средняя величина зерна разная. Поверхности этих равных объемов относятся обратно пропорционально средним величинам зерна. Для построения этого отношения наносим на оси Y точку A с ординатой равной принятой нами доли объема. В нашем случае $A = 0,2$ так как весь объем разделен на 5 равных частей. Из точки A , как из полюса проводим лучи к концам средних величин зерен участков, на которые разделен весь объем. Наклон лучей характеризует коэффициент, определяющий удельную поверхность.

Чем больше средняя величина зерна, тем угол меньше. Продолжая наше графическое интегрирование относим на оси абсцисс точку B на некотором расстоянии „ a “. Это рассто-

яни α является базисом построения и измеряется, конечно, в масштабе длин, но может задаваться произвольно.

Развертывая пучек лучей в многоугольник, мы получаем на оси $У$ точку $С$, причем расстояние $ОС$ мерится в масштабе об'емов. Искомый коэффициент поверхности выразится через отношение $ОС$ и $ОВ$ и будет измеряться в квадратных единицах. Отношение же к об'ему дает удельную поверхность выражаемую в единице, деленную на длину.

Построение никаких трудностей не представляет. Нужно только помнить правило масштабов.

Полюсное расстояние $ОА$ измеряется в об'емах и масштаб его определяется принятым масштабом для кривой грануляции. Базис $ОВ$ измеряется в линейных единицах и величина его назначается удобной для чертежа.

Если бы отощатель состоял из шаров, то найденный коэффициент поверхности нужно было бы множить на 6. Опыт показал, что коэффициент этот приемлем для естественных песков и гравия, но должен увеличиваться до 8 для дробленого песка и щебня, более угловатых чем естественный материал *).

Так как мы определяем удельную поверхность тела отощателя, то вводим коэффициент $(1 - \alpha)$, который учитывает содержание тела отощателя в об'еме занимаемом материалом.

Так как формула для определения удельной поверхности учитывает тело отощателя, а не видимый об'ем его, то можно избежать деления, а затем умножения, оставив величину получаемую на графике без изменения.

При определении удельной поверхности песка, мы отделяем пылевидную часть его, уплотняющую цементное тесто, от остального об'ема песка. Лишь эта последняя часть и является отощателем. Удельная поверхность определяется также как и поверхность камневидной. (См. рис. 46).

*) Просеивая материал через сито, мы определяем наименьший размер зерна. Вводя этот размер в расчет мы преувеличиваем значения удельной поверхности и тем самым компенсируем шероховатость поверхности, в случае применения естественного материала. Для щебня и дробленного песка этого недостаточно. Приходится увеличивать коэффициент поверхности, доводя его, обычно, до 8.

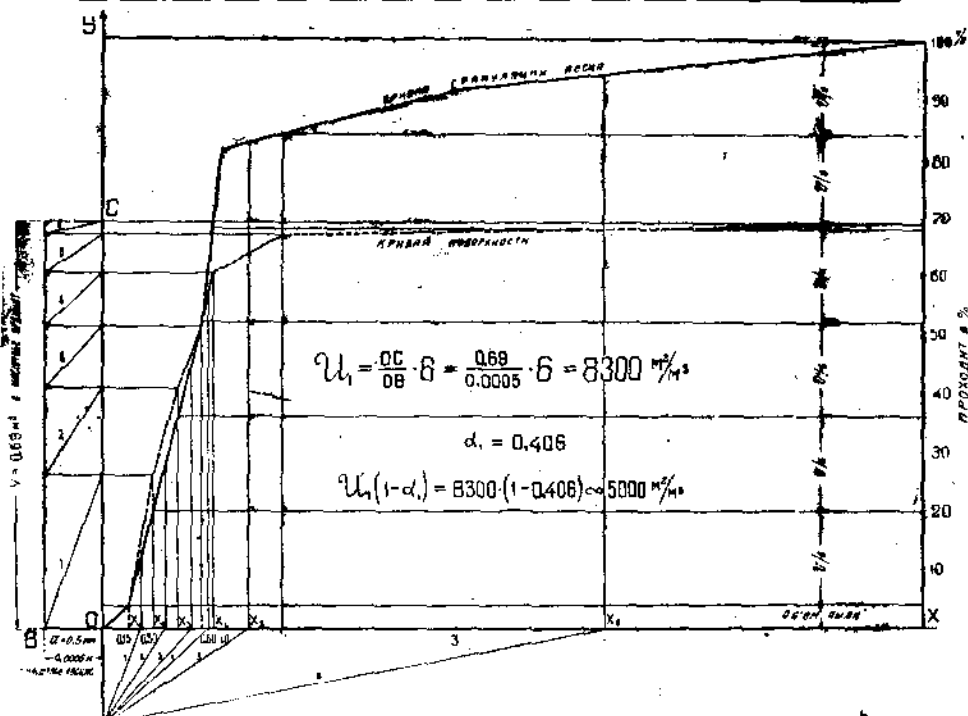


Рис. 46. Кривая грануляции песка и построение кривой удельной поверхности.

Величины $U_1(1-\alpha_1)$ и $U_2(1-\alpha_2)$ равны соответственно 5000 и 100 $\text{м}^2/\text{м}^3$. Удельная поверхность кубометра щебня в 50 раз менее удельной поверхности того же объема песка. Столь существенная разница объясняется большим размером щебня и чрезмерным содержанием мелочи в песке.

Подставляя полученные результаты в основную формулу для определения удельной поверхности отощателя, имеем для нашего случая

$$U = \frac{5000 + 100 \text{ л}}{0,6 + 0,5 \text{ л}}$$

Величина 100 л выписывается в XV строчке, а по добавлении 5000 получаем числитель дроби который выносится в XVI строку. В XVII строчке заносятся значениями удельной поверхности отощателя. Кривая удельной поверхности дана на рис. № 47.

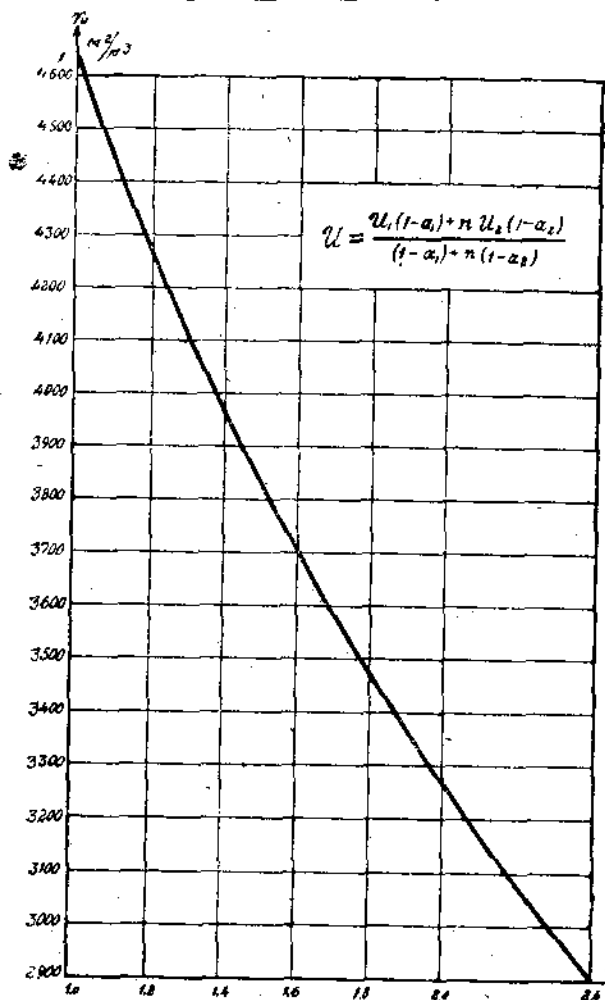


Рис. 47. Кривая удельной поверхности отощателя в зависимости от фактора отощателя.

Основные величины α и U увязываются в одну кривую зависимости редуцированной удельной воздушной прослойки от фактора отощателя.

Эта кривая строится как отношение α/U . (См. рис. 48).

Так как α величина отвлеченная, а U выражается в $\text{м}^2/\text{м}^3$, то $\delta' = \frac{\alpha}{U}$ измеряется в м. Фактическая величина δ' не до-

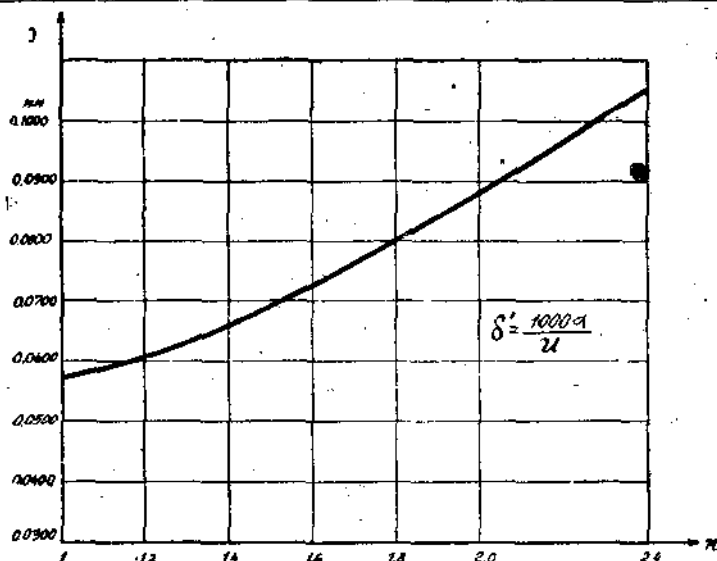


Рис. 48. Кривая редуцированной толщины воздушной прослойки в зависимости от фактора отощателя.

стигает и миллиметра, поэтому мы измеряем δ' в миллиметрах, для чего пользуемся выражением

$$\delta' \text{ (мм)} = \frac{1000 \alpha}{u}$$

Подсчет δ' приведен в строках XIX и XX. По величине δ' мы можем судить о необходимой толщине δ — смазки отощателя цементным тестом.

Величина δ' подсчитана в предположении, что весь объем воздуха пустот равномерно покрывает отощатель, но в действительности большая доля цементного теста идет на заполнение пустот и лишь остаток смазывает отощатель, поэтому толщина цементной смазки δ составляет долю δ' . Доля эта тем более, чем больше требуется прочность и пластичность бетона.

Как известно, коэффициент уплотнения бетона φ определяется следующим образом

$$\varphi = 1 + \frac{\delta u}{\alpha}$$

или

$$\varphi = 1 + \frac{\delta}{\delta'}$$

Задаваясь толщиной цементной смазки δ в долях от δ' в зависимости от требований прочности и податливости бетона, мы тем самым задаем и столь важный физический фактор как коэффициент уплотнения бетона. Коэффициент φ зависит от δ и δ' . Но δ' зависит от n , следовательно φ зависит от n и параметра δ . От тех же переменных n и δ зависит расход цементного теста, определяемый равенством

$$t = \frac{\alpha + u\delta}{1 + u\delta}$$

так как α и u являются функциями n , а δ служит параметром семейства кривых t .

Каждая кривая семейства t при заданном параметре δ обладает минимумом.

Каждому δ соответствует свое оптимальное значение n . Линия соединяющая минимумы t мало отклоняется от прямой и может быть заменена в наших расчетах прямой. Каждой точке этой прямой соответствует свое значение φ . Линию, соединяющую значения φ мы назовем сопряженной кривой φ .

Итак, мы имеем прямую минимумов t и сопряженную ей прямую φ .

Для продолжения прямой достаточно знать две точки. Начальной точкой является точка соответствующая $\delta=0$. В этом случае

$$t = \frac{\alpha + u\delta}{1 + u\delta} = \alpha$$

$$\varphi = 1 + \frac{\delta}{\delta'} = 1$$

Минимум α соответствует n критическому.

Начало прямых t и φ лежит на кривой α при $n=n$ критическому.

Для нахождения второй точки искомой прямой t мы произвольно задаемся достаточно большим δ и строим для этого параметра кривую t . Отыскав минимум кривой t мы тем самым находим вторую искомую точку прямой t .

В нашем примере мы взяли $\delta=0,05$ мм. $\Rightarrow 0,00005$ м. Для этого параметра δ , t определяется из равенства

$$t = \frac{\alpha + 0,0000 \text{ и}}{1 + 0,0005 \text{ и}}$$

Подсчет $0,00005 \text{ и}$, $0,00005 \text{ и} + \alpha$ и $0,00005 \text{ и} + 1$ показан в строчках XXI, XXII и XXIII. В последней же строке XXIV приведены значения t при $\delta = 0,05 \text{ мм}$. Минимум t лежит на $n = 1,6$ и равен $0,382$.

По абсциссе $n = 1,6$ и ординате $t = 0,382$ наносили искомую точку. Соединяя эту точку с начальной $n = 1,2$; $t = \alpha = 0,258$, прокладываем прямую минимумов t .

Остается определить положение сопряжено точки φ . Поступаем мы следующим образом: при $\delta = 0,05 \text{ мм}$. n оптим. равно $1,6$. Но $n = 1,6$ соответствует $\delta' = 0,0727$ (см. строку XX), следовательно

$$\varphi = 1 + \frac{\delta}{\delta'} = 1 + \frac{0,0500}{0,0727} = 1,69.$$

Искомая сопряженная точка φ имеет абсциссу $n = 1,6$ и ординату $1,69$. Так как масштаб φ мы не связаны, то задаем его произвольно и придаем сопряженной прямой φ удобный наклон.

В результате наших выкладок мы имеем две прямые, по которым и проектируем состав бетона. (См. рис. 49 и 50 стр. 177 и 178).

Проектирование состава бетона.

Прочность в 110 кг/см^2 в возрасте 28 дней обеспечивается цементно-водным фактором $= 1,1$.

Требуемая пластичность выражается растеканием на столике Бетке в $\infty 1,5$.

Основное требование это—водоупорность. Согласно задания статическое давление 3 атмосферы, а возможные удары достигают $1,5$ атмосфер.

Полагая запас статического давления 2, а при ударах ограничиваясь запасом $1,5$, имеем расчетное давление $3 \times 2 = 6 < 1,5 (3 + 1,5) \leq 7$.

Бетон должен быть достаточно водоупорен при давлении 7 атмосфер. При прочих равных условиях водоупорность зависит от коэффициента уплотнения бетона. Т. к. в отощателе имеется много пыли, то даже при сравнительно небольшом коэффициенте уплотнения можно ожидать большой водо-

упорности, так как мелкая пыль способствует созданию весьма тонких капиларов. Вполне возможно ограничиться коэффициентом уплотнен φ равным 1.

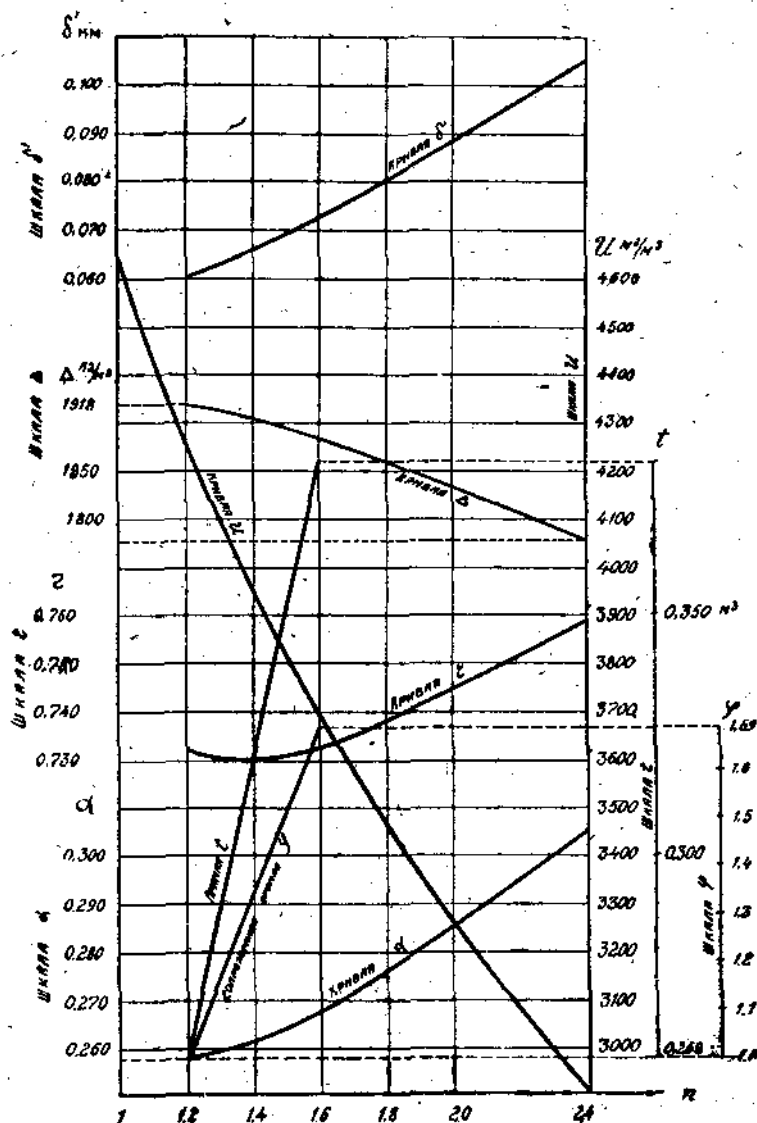
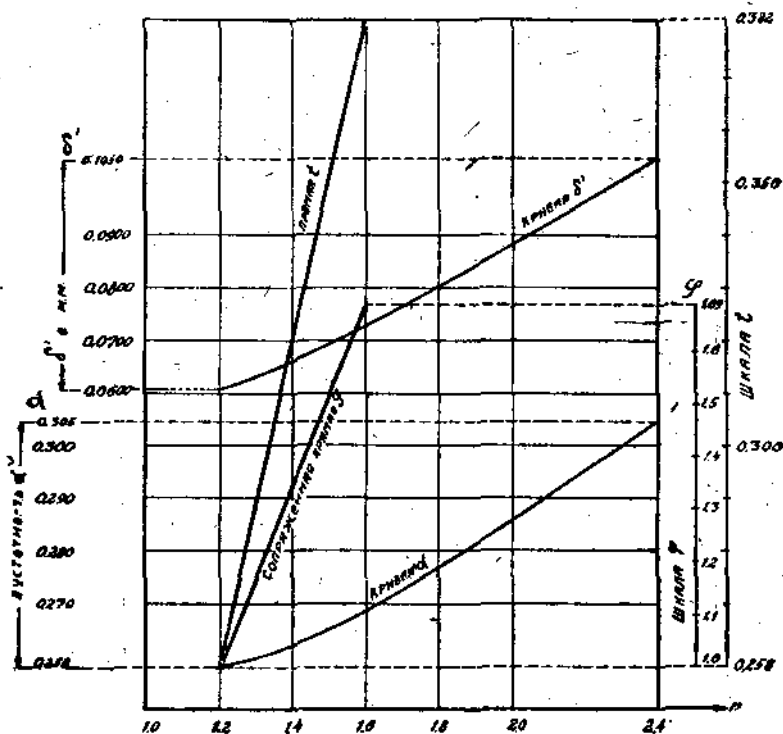


Рис. 49. Сводный график кривых Δ , γ , ζ и δ' в зависимости от фактора отощателя. Прямая t и сопряженная прямая φ .

Погоня за высокими коэффициентами уплотнения влечет за собой увеличение расхода цемента.

Доведение расхода цемента до минимума требуется не только из соображений экономических, но и технических. Цемент ведет к усадочным трещинам и образованию коллоидов,



це прямые t и ϕ с показанием кривых α и δ' .

которые при высоких давлениях способствуют просачиванию воды. Исходя из этих соображений, мы и приняли $\phi=1,1$. При $\phi=1,1$, имеем по прямой $[\phi - n = 1,25$. При $n=1,25$ имеем по прямой $t - t = 0,277$.

На кубометр бетона требуется 277 литров теста и 723 литра тела отощателя.

При цементно-водном факторе 1,1 и удельном весе цемента 3 (учитывая некоторое разбухание в воде), находим по известной формуле

$$W = \frac{3t}{K+3}$$

$$W = \frac{3 \cdot 277}{3 + 1,1} = 200 \text{ литров}$$

$$= 200 \times 1,1 = 220 \text{ кг.}$$

По кривой пористости α находим, что данному отношению n соответствует значение $\alpha = 0,26$. Следовательно объем отождателя

$$V = \frac{723}{1 - \alpha} = \frac{723}{1 - 0,26} = \frac{723}{0,74} = 980 \text{ литров.}$$

Имея в виду, что при смешивании песка и камневидной, объем смеси менее суммы объемов составляющих, находим коэффициент уплотнения смеси (или коэффициент уменьшения объема) r при принятом $n = 1,25$. На графике № 43 показана кривая уменьшения объема r в функции n . При $n = 1,25$ $r = 0,732$.

Из равенства $V = (V_1 + V_2) r$ находим:

$$V_1 + V_2 = \frac{V}{r} = \frac{980}{0,732} = 1340 \text{ литров.}$$

Зная n нетрудно определить количества песка

$$V_1 = \frac{V_1 + V_2}{1 + n} = \frac{1340}{1 + 1,25} = \frac{1340}{2,25} = 595 \text{ литров,}$$

а щебня

$$V_2 = 595 \times 1,25 = 745 \text{ литров.}$$

Округляя имеем состав на 1 куб. м.:

Щебня	— 750 литров
Песка	— 600 литров
Цементы	— 220 кгр.
Воды	— 200 литров.

Пробный замес показал необходимость добавить 5 литров воды для достижения требуемой консистенции*).

*) Добавление воды несколько понизило прочность. См. результаты испытаний ($108 \text{ кг/см}^2 < 110 \text{ кг/см}^2$).

Результаты испытаний.

Из спроектированного состава были изготовлены кубики размером $20 \times 20 \times 20$ для испытания на сжатие и плитки размером $20 \times 20 \times 10$ для испытания на водонепроницаемость.

Сейчас же после набивки форм кубики были взвешены. Средний вес образца $20 \times 20 \times 20$ получился равным 18,4 кг., что соответствует об'емному весу 2,30.

Теоретический же вес 1 куб. м. бетона при наших об'емных весах песка и щебня равен:

$$0,75 \times 1,27 + 0,600 \times 1,56 + 0,205 + 0,220 = 2,31.$$

Имея об'емные веса действительный и теоретический, можно оценить % пористости бетона

$$\alpha_{\text{бет.}} = \frac{2,31 - 2,30}{2,31} \times 100 = 0,4\%.$$

Вес образца по вынутии его из воды оказался равным 18,5 кг.

Образец впитал воды $18,5 - 18,4 = 0,100$ кг. т. е. 100 см^3 , что составляет $1,25\%$ от всего об'ема. В действительности об'ем всосанной воды меньше т. к. часть воды идет на смачивание поверхности образца и задерживается на внешних неровностях.

Бетонные кубики были испытаны в возрасте 7-ми и 28-ми дней и дали следующие результаты

$$R_7 = 60 \text{ кг/см}^2. R_{28} = 108 \text{ кг/см}^2 \leq 110 \text{ кг/см}^2.$$

Испытание производилось на 60-тонном прессе Амслера. Плиты $20 \times 20 \times 10$ испытывались на водонепроницаемость в возрасте 28 дней на аппарате Бугарца и подтвердили высокую водоупорность бетона.

Испытания на морозоупорность и на прочность при изгибе не производились, так как бетон не подвергается воздействию мороза и растягивающих усилий.

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ВРЕЖАЮК

I	n	1,0	1,2	1,4		1,8	2,0	2,4
II	Δ	1,800	1,918	1,904	1,385	1,887	1,830	1,782
III	1,27 n	1,27	1,52	1,778	2,08	2,29	2,54	3,05
IV	+							
V	1,56	2,83	3,08	3,398	3,49	3,95	4,10	4,61
VI	1+n	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,4
	(1+n) Δ	3,8	4,22	4,57	4,90	5,23	5,49	6,06
VII	r	0,745	0,732	0,730	0,733	0,738	0,745	0,759
VIII	1-r	0,255	0,268	0,270	0,267	0,262	0,255	0,241
IX	1,406-(1-r)	0,151	0,138	0,136	0,139	0,144	0,151	0,165
X	0,500-(1-r)	0,245	0,232	0,230	0,233	0,238	0,245	0,259
XI	[0,500-(1-r)] n	0,245	0,278	0,322	0,373	0,428	0,480	0,622
XII	Числитель	0,396	0,416	0,458	0,512	0,572	0,641	0,787
XIII	Знаменатель	1,480	1,610	1,75	1,91	2,07	2,24	2,58
XIV	α	0,266	0,258	0,262	0,268	0,276	0,286	0,305
XV	100 n	100	120	140	160	180	200	240
XVI	5000+100 n	5100	5120	5140	5160	5180	5200	5240
XVII	0,6+0,5 n	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8

$$\Delta_1 = 1,56$$

$$\Delta_2 = 1,27$$

$$r = \frac{\Delta_1 + n \Delta_2}{(1+n) \Delta} = \frac{1,56 + 1,27 n}{(1+n) \Delta}$$

$$\alpha_1 = 0,406 \quad \alpha_2 = 0,500$$

$$\alpha = \frac{[a_1 - (1-r)] + n [a_2 - (1-r)]}{r(1+n)}$$

$$= \frac{[0,406 - (1-r)] + n [0,500 - (1-r)]}{r(1+n)}$$

$$U = \frac{U_1(1-\alpha_1) + n U_2(1-\alpha_2)}{(1-\alpha_1) + n(1-\alpha_2)}$$

$$= \frac{5000 + 100 n}{0,6 + 0,5 n}$$

$$U_1 = 5300 \text{ м}^2/\text{м}^2$$

$$U_2 = 200 \text{ м}^2/\text{м}^2$$

XVIII	"	4630	4260	3960	3690	3460	3250	2900
XIX	1000 α	266	258	262	268	276	286	305
XX	δ'	0,0575	0,0605	0,0664	0,0727	0,08	0,088	0,105
XXI	0,00005 u	0,2815	0,2180	0,1875	0,1845	0,1730	0,1625	0,1450
XXII	0,00005 $u + u$	0,4975	0,4710	0,4565	0,4525	0,4490	0,4485	0,4500
XXIII	0,00005 $u + 1$	1,2815	1,2180	1,1975	1,1845	1,1730	1,1625	1,1450
XXIV	ϵ_{004}	0,404	0,388	0,394	0,382	0,383	0,386	0,393

$$\delta' (m_k) = \frac{1000 \alpha}{u}$$

$$\begin{aligned} \text{Для } \delta = 0,05 \text{ мм мм} \\ 0,00005 \text{ м.} \\ &= \frac{0,00005 u + 1}{0,00005 u + 1} \end{aligned}$$

$$\delta' = 0,0727$$

$$\delta = 0,05$$

$$\frac{\delta}{\delta'} = \frac{0,05}{0,0727} = 0,69$$

$$\varphi = 1,69$$

Г Л А В А 5.

Метод постепенного проектирования состава бетона

Этот метод проектирования состава бетона складывается из следующих операций:

- 1) Изучение цемента
- 2) Изучение песка
- 3) Изучение камневидной
- 4) Подсчеты состава бетона, проверка консистенции и заготовление пробных образцов.

Первые три операции проводятся, как и в ранее изложенных методах проектирования—по инструкции.

Зная пустотность песка и камневидной— α_1 и α_2 и необходимый цементно-водный фактор K мы подсчитываем состав бетона, варьируя значения коэффициентов заполнения пустот песка и камневидной φ_1 и φ_2 , так чтобы получить бетон требуемой консистенции при затрате минимума цемента.

Ранее мы вывели зависимость коэффициента уплотнения бетона φ от коэффициентов φ_1 и φ_2 и показали на примере, что φ_1 и φ_2 порознь большие единицы не гарантируют получение достаточно большого φ . Поэтому приходится принимать φ_1 и φ_2 достаточно большими. Задаваясь $\varphi_1=1,2$, мы меняем φ_2 до тех пор, пока не достигнем требуемой консистенции бетона. Так как для каждой пары φ_1 и φ_2 приходится решать систему уравнений, то для облегчения выкладок составлены таблицы (см. „Бетон“ книга 2. Труды Закавказского Института Сооружений. Тифлис. 1930 г. Таблицы профессора К. Завриева). Кроме того в той же работе помещены номограммы и-ра В. В. Михайлова для проектирования состава постепенным методом. Мы приводим номограммы вместе с на-

ставлением, вполне объясняющим работу при помощи номограмм.

Здесь мы несколько остановимся на уравнении, увязывающем коэффициент уплотнения бетона φ с коэффициентами φ_1 и φ_2 . Мы показали, что

$$\varphi = \frac{\alpha_1 \varphi_1}{[\alpha_1 - (1-r)] + n [\alpha_2 - (1-r)]} \dots \dots \dots (1)$$

Приведенную формулу желательно преобразовать так, чтобы иметь возможность ориентироваться при выборе φ_2 , когда φ_1 нами уже задано.

Вспомним, что коэффициент заполнения пустот камневидной определяется как отношение объема раствора к объему пустот камневидной и что объем раствора равен сумме объемов тела песка и цементного теста.

$$\varphi_2 = \frac{V_1 (1-\alpha_1) + t}{V_2 \alpha_2}$$

далее

$$\varphi_1 = \frac{t}{V_1 \alpha_1}$$

Следовательно:

$$\varphi = \frac{V_1 (1-\alpha_1) + V_1 \alpha_1 \varphi_1}{V_2 \alpha_2} = \frac{V_1 [1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1]}{V_2 \alpha_2}$$

Откуда

$$\varphi_2 = \frac{1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1}{V_2/V_1 \alpha_2} = \frac{1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1}{n \alpha_2}$$

или после преобразования

$$\alpha_2 \varphi_2 = \frac{(1-\alpha_1) + \alpha_1 \varphi_1}{n} \dots \dots \dots (2)$$

Из равенства 2 определяем $\alpha_1 \varphi_1$

$$\alpha_1 \varphi_1 = n \alpha_2 \varphi_2 - (1-\alpha_1) \dots \dots \dots (3)$$

Подставляя равенство 3 в равенство 1 имеем

$$\varphi = \frac{n \alpha_2 \varphi_2 - (1-\alpha_1)}{[\alpha_1 - (1-r)] + n [\alpha_2 - (1-r)]} \dots \dots \dots (4)$$

Преобразовывая уравнение (4), получаем

$$\varphi_2 = \varphi + \frac{1-\varphi(1-r)(n+1)}{n \alpha_2} + \frac{(\varphi-1) \alpha_1}{n \alpha_2} \dots \dots (5')$$

Так как φ не многим превышает единицу, а $\frac{\alpha_1}{n \alpha_2}$ дробная величина, то можно пренебречь влиянием последнего члена равенства (5') и принять его равным нулю, тогда

$$\varphi_2 = \varphi + \frac{1 - \varphi (1 - r) (n + 1)}{n \alpha_2} \dots \dots \dots (5)$$

Если коэффициент уменьшения объема не определяется опытным путем, то допустимо принять его равным 0,77 для смеси естественного песка и гравия и 0,80 для смеси искусственных отощателей.

При этом допущении

$$\varphi_2 = \varphi + \frac{1 - \varphi \cdot 0,23 (n + 1)}{n \alpha_2} \dots \dots \dots (6)$$

для естественных отощателей, и

$$\varphi_2 = \varphi + \frac{1 - \varphi \cdot 0,20 (n + 1)}{n \alpha_2} \dots \dots \dots (6a)$$

для искусственных отощателей.

Обычно можно принимать $\varphi = 1,1$. Для этого значения

$$\varphi_2 = 1,1 + \frac{3 - n}{4 n \alpha_2}$$

для естественного отощателя и

$$\varphi_2 = 1,1 + \frac{0,78 - 0,22 n}{n \alpha_2}$$

Формулы эти действительны для $n \leq 2,5$. При больших значениях n , когда отощатель состоит в основном из камневидной, коэффициент заполнения пустот камневидной приближается к значению коэффициента уплотнения бетона.

Проектирование состава бетона последовательным *) методом иллюстрируется помещенным ниже примером. „Проектирование состава бетона отделки напорного тоннеля Дзорагас'а“. Работа эта выполнена инж. Н. А. Агрызковым.

Прежде чем перейти к примеру, иллюстрирующему применение метода последовательного проектирования состава бетона, ознакомимся с номограммой для проектирования состава бетона последовательным методом.

Номограмма составлена инженером В. В. Михайловым.

*) На странице 183 вкратце описки в заглавии и в последней строчке названия: „последовательный“ вместо „последовательным“.

НОМОГРАММА

для проектирования состава бетона последовательным методом

Номограмма построена для графического решения задач при проектировании состава бетона последовательным методом.

Номограмма представлена в двух видах: первый—для решения задач помощью карандаша, рейсшины и транспоранта; второй—с введением ползучих подвижных указателей и самоориентируемого транспоранта; этот вид весьма пригоден в лабораторных условиях в силу своей надежной и продолжительной службы.

1. Методы и формулы проектирования состава бетона.

Задача проектирования состава бетона заключается в кратких чертах в следующем:

Задача 1.

Имеются гравий и песок данного карьера; требуется спроектировать бетон определенной марки и консистенции.

Для этого в лаборатории определяются коэффициенты пористости α_1 и α_2 данного гравия и песка, а также задается цементно-водный фактор K соответствующий 28-дневной проектной прочности бетона.

Далее по соображениям плотности и консистенции предварительно выбираются значения коэффициентов заполнения пустот гравия и песка φ_2 и φ_1 .

Таким образом известны значения:

$$\alpha_1, \alpha_2, \varphi_1, \varphi_2 \text{ и } K.$$

Роль номограммы сводится к определению по этим значениям расхода:

гравия — V_2 в куб. метрах
 песка — V_1 " " "
 цемента — Z в килограммах
 воды — W " "

$$\text{фактора отощателя } n = \frac{V_2}{V_1}$$

Зависимости между перечисленными величинами следующие:

$$V_2 = \frac{1}{1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_2} \dots \dots \dots (1)$$

$$V_1 = \frac{\varphi_2 \alpha_2}{[1 + (\varphi_2 - 1) \alpha_2] [1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1]} \dots \dots \dots (2)$$

$$Z = \frac{K}{1 + 0,33k} \frac{\alpha_1 \alpha_2 \varphi_1 \varphi_2}{[1 + (\varphi_2 - 1) \alpha_2] [1 + (\varphi_1 - 1) \alpha_1]} \dots \dots \dots (3)$$

$$W = \frac{Z}{K} \dots \dots \dots (4)$$

$$n = \frac{V_2}{V_1} \dots \dots \dots (5)$$

Предлагаемая номограмма дает в графической форме указание 5 зависимостей.

По найденному составу изготавливается проба, и по осадке конуса выясняется, насколько правильно выбраны значения коэффициентов заполнения φ_1 и φ_2 . В случае неудовлетворительной консистенции подбираются другие значения, и вновь с помощью номограммы определяется состав бетона.

Задача 2.

Имеются гравий и песок данного карьера; требуется спроектировать бетон с заданным фактором отощателя n . Как и в первой задаче, определяются коэффициенты пористости гравия α_1 и песка α_2 , а также задается цементно-водный фактор K соответствующий 28-дневной прочности бетона.

Далее, по соображениям плотности и консистенции предварительно выбирается значение коэффициента заполнения гравия φ_1 . Таким образом, известны значения:

$$\alpha_1 \alpha_2 \varphi_1 n \text{ и } K.$$

Роль номограммы сводится к определению остальных значений:

$$\varphi_1, V_1, V_2, Z \text{ и } W.$$

Задача 3.

Имеются гравий и песок данного карьера; требуется спроектировать бетон с заданным расходом цемента Z на куб. метр бетона.

Как и в первой задаче, определяются коэффициенты пористости гравия α_1 и песка α_2 , а также задается цементно-водный фактор K , соответствующий 28-дневной прочности бетона.

Далее, по соображениям плотности и консистенции предварительно выбирается значение коэффициента заполнения гравия φ_1 .

Таким образом, известны значения:

$$\alpha_1, \alpha_2, \varphi_1, Z \text{ и } K.$$

Роль номограммы сводится к определению остальных значений:

$$\varphi_1, V_1, V_2, n \text{ и } W.$$

Помимо этих трех основных задач, при помощи номограммы, обладающей обратимостью, могут решаться и другие задачи.

2. Метод пользования номограммой.

Определение искомых величин по номограмме производится следующим образом:

Задача 1.

Данные величины выписываются для удобства пользования в следующем порядке (для ясности дан цифровой пример):

$$\alpha_2 = 0,34 \quad \varphi_2 = 1,25$$

$$\alpha_1 = 0,40 \quad \varphi_1 = 1,60$$

$$K = 1,5.$$

Номограмма (см. рис. 51) накладывается на доску, и по ней, перпендикулярно шкалам, ориентируется рейсшина (т. е. направление рейсшины должно совпасть с направлением прямой $\varphi_1 = 1,0$ левого бинарного поля (можно ориентировать рейсшину и по окантывающей номограмму рамке).

1) Нахождение расхода гравия V_2 . Операция $A(\varphi_2, \alpha_2) - V_2$. На левом бинарном поле отыскивается точка, (φ_2, α_2) соответствующая пересечению прямых $\alpha_2 = 0,34$ и $\varphi_2 = 1,25$. Точка эта при помощи рейсшины сносится на шкалу V_2 , где и отсчитывается искомое его значение $V_2 = 0,922 \text{ м}^3$.

2) Нахождение расхода песка V_1 . (Операция $A(\varphi_1, \alpha_1) - V_1 - B(\varphi_2, \alpha_2)$). На левом бинарном поле отыскивается точка (α_1, φ_1) , соответствующая пересечению прямых $\alpha_1 = 0,40$ и $\varphi_1 = 1,60$. Точка эта при помощи рейсшины сносится на немую шкалу A и отмечается на ней карандашом (в виде слабой черточки).

На правом бинарном поле отыскивается точка (α_2, φ_2) , соответствующая пересечению прямых $\alpha_2 = 0,34$ и $\varphi_2 = 1,25$, и полученная точка сносится рейсшиной на немую шкалу B , где также отмечается карандашом.

Накладывая на полученные две точки транспорант (прозрачную восковку с нанесенной на ней тушью тонкой прямой чертой) или прикладывая линейку, находим значение расхода песка $V_1 = 0,316 \text{ м}^3$, отсекаемое этой прямой на шкале V_1 .

3) Нахождение расхода цемента Z (Операция $K - A - B(\varphi_2, \alpha_2)$; $A - C - B(\varphi_1, \alpha_1)$). На правом бинарном поле находится точка (α_1, φ_1) , соответствующая пересечению прямых $\alpha_1 = 0,40$ и $\varphi_1 = 1,6$ и полученная точка сносится на немую шкалу B , где и отмечается карандашом.

Таким образом, на немой шкале B имеются две точки: одна, соответствующая значениям (α_2, φ_2) , другая — (α_1, φ_1) . Любую из этих точек скажем (α_2, φ_2) , соединяем (транспорантом или линейкой) со значением $K = 1,5$ на шкале цемента-водного фактора и отмечаем пересечение этой прямой с немой шкалой A .

Затем соединяем полученную точку на шкале A со второй точкой на шкале B , соответствующей точке (α_1, φ_1) .

Полученная прямая отсекает на шкале Z искомое значение расхода цемента $Z = 203 \text{ кг}$.

При пользовании прозрачным транспорантом точка на шкале A фиксируется — нажимом на него в этой точке острием циркуля или булавкой (без прокалывания транспоранта), после чего транспорант поворачивается вокруг созданной временной

оси до совпадения прямой транспоранта со второй точкой на шкале В.

4) Нахождение расхода воды W . (Операция $K-A-Z$). Потребное количество воды находится по второй номограмме простым накладыванием транспоранта на значения $K=1,5$ и $Z=203$ крайних шкал; прямая отсечет на средней шкале искомый расход воды $W=135$ кг. (или литров).

Задача 2.

$$\begin{aligned} \text{Даны } \alpha_2 &= 0,35 & \varphi_2 &= 1,35 \\ n &= 2,5 & K &= 1,7 \\ \alpha_1 &= 0,45 \end{aligned}$$

1) Определение расхода гравия V_2 (операция А) (φ_2, α_2) — V_2 . На левом бинарном поле отыскивается точка (α_2, φ_2) , соответствующая пересечению прямых $\alpha_2=0,35$ и $\varphi_2=1,35$.

Точка эта при помощи рейсшины сносится на шкалу, где и отсчитывается искомое его значение $V_2=0,891$ м³. Кроме того на той же горизонтали делается отметка на пересечении со шкалой А.

2) Определение расхода песка V_1 . (Операция А (V_2) — V_1 — В (n)). При помощи рейсшины на немую шкалу В со шкалы n сносится значение фактора отощателя $n=2,5$. Полученные точки на шкалах А и В соединяются прямой (или на них накладывается транспорант), и прямая отсекает на шкале V_1 искомое значение расхода песка $V_1=0,356$ м³.

3. Определение коэффициента заполнения песка φ_1 (операция В (φ_2, α_2) — V_1 — А (α_1, α_2)). На правом бинарном поле находится точка (α_2, φ_2) , соответствующая значениям $\alpha_2=0,35$, и точка эта сносится на немую шкалу В, где и отмечается карандашом.

Полученная точка соединяется прямой со значением расхода песка $V_1=0,356$ на шкале V_2 , и отмечается точка пересечения прямой с немой шкалой А.

Затем эта точка сносится рейсшиной на левое бинарное поле до пересечения с прямой $\alpha_1=0,45$. Получаем искомое значение коэффициента заполнения песка $\varphi_1=1,41$.

4. Остальные величины Z и W находятся способом, указанным в первой задаче.

Задача 3.

Даны величины

$$\alpha_1 = 0,42 \quad \varphi_2 = 1,4$$

$$Z = 225 \quad K = 1,6$$

$$\alpha_1 = 0,382$$

1) Определение коэффициента заполнения песка φ_1 . (Операция $A - Z - B$ ($\varphi_2 \alpha_1$); $K - A - B$ ($\varphi_1 \alpha_1$). На правом бинарном поле находится точка ($\alpha_2 \varphi_2$) соответствующая значениям $\alpha_2 = 0,42$ и $\varphi_2 = 1,4$ и точка эта сносится на немую шкалу В, где и отмечается карандашом.

Полученная точка соединяется прямой со значением расхода цемента $Z = 255$ на шкале Z , и отмечается точка пересечения прямой с немой шкалой А. Затем эта точка соединяется прямой со значением цемента-водного фактора $K = 1,6$ и отмечается пересечение этой прямой с немой шкалой В.

Снося полученную на шкале В точку на правое бинарное поле до пересечения с прямой $\alpha_1 = 0,382$, получаем искомое значение коэффициента заполнения песка $\varphi_1 = 1,20$.

2) Остальные величины — V_2 , V_1 и W находятся способом, указанным в первой задаче.

3. Применение подвижных указателей.

Для упрощения и ускорения пользования номограммой последняя может быть оборудована подвижными указателями и снабжена связанным с указателями самоориентируемым транспорантом.

Общий вид механизированной номограммы представлен на рис. 56, стр. 196.

Она состоит: 1) из номограммы общего вида, наклеенной на плотный картон, дикту или металлическую пластинку. В номограмме вместо немых шкал А и В сделаны узкие прорезы для движения по ним подвижных указателей; 2) из двух подвижных указателей (см. рис. 52), изготавливаемых из прозрачного целлулоида. На указателях нанесены пропорциональные деления, соответствующие делениям значений вертикальных прямых α_2 и α_1 (от 0,30 до 0,50) и по существу заменяющие эти прямые.

Для точной ориентировки указателя последний крепится на двух штифтах а и в, точно, но свободно двигающихся по прорезам (оси шкал А и В).

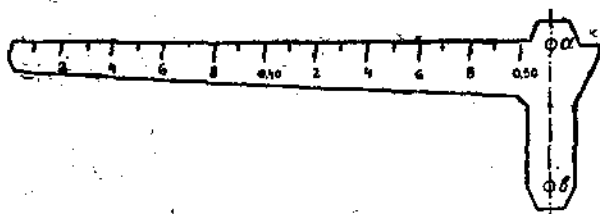


Рис. 52 Подвижной указатель.

На верхней оси идет самоориентируемый прозрачный транспорант из целлулоида (см. рис. 53) с тонкой чертой вдоль него.

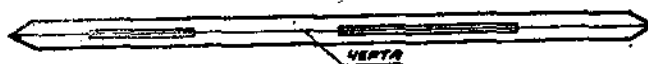


Рис. 53. Транспорант.

Нижний штифт снабжен нарезкой. На штифт надет зажим в, дающий возможность укреплять указатель неподвижно на номограмме.



Рис. 55. Штифт с площадкой.



Рис. 54. Штифт с зажимом.

Штифт а оканчивается упорной площадкой, не дающей возможности транспоранту соскочить со штифта (см. рис. 54 и 55)

Пользование такой механизированной номограммой весьма простое.

Задача 1.

1) Нахождение V_1 —Указатель устанавливается на точке (α, φ) левого бинарного поля (так, чтобы точка касалась верхней грани указателя), и отсчитывается значение V_1 , на которое указывает правая сторона указателя (см. рис. 56, стр. 196).

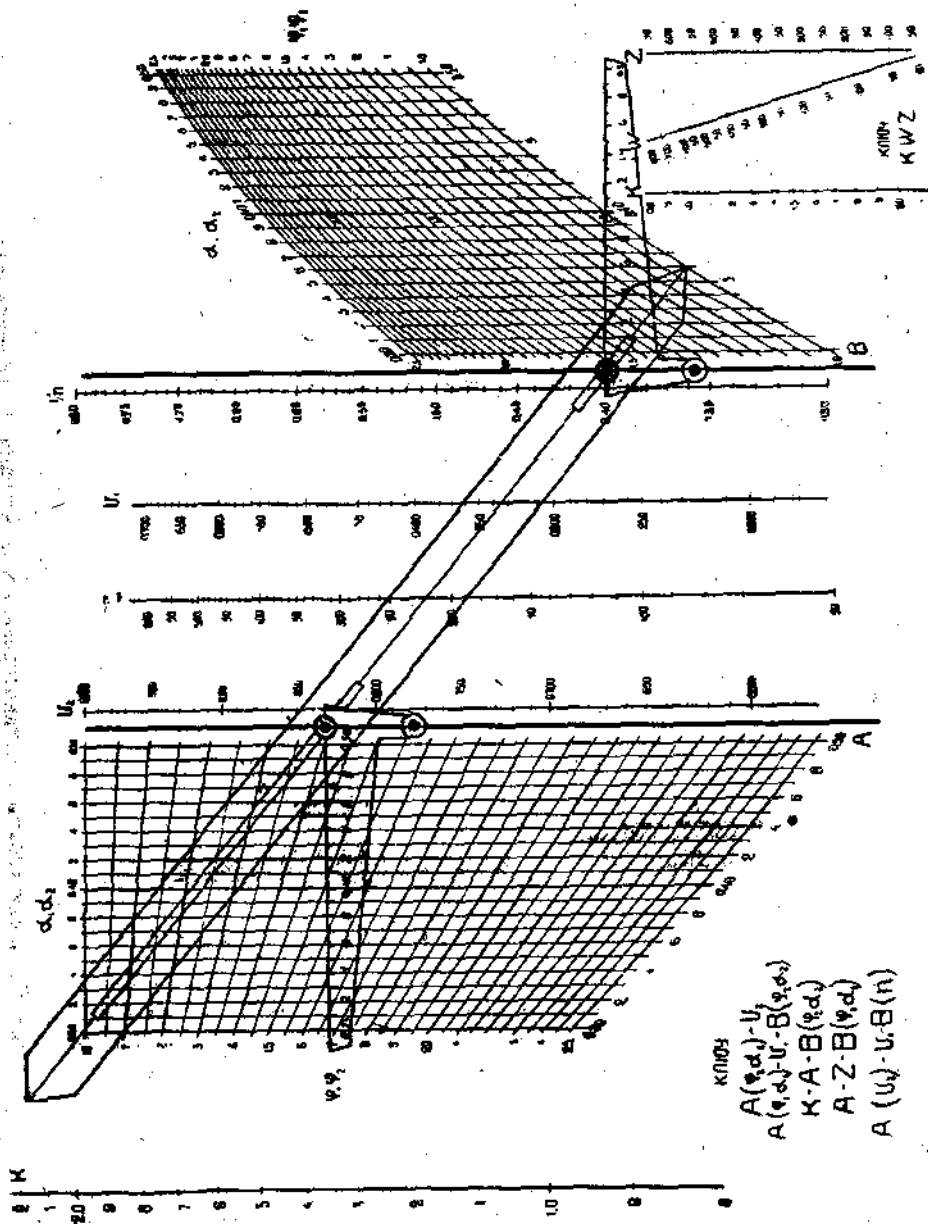


Рис. 56. Схема работы с механизированной номограммой. Позиция 1-ая.

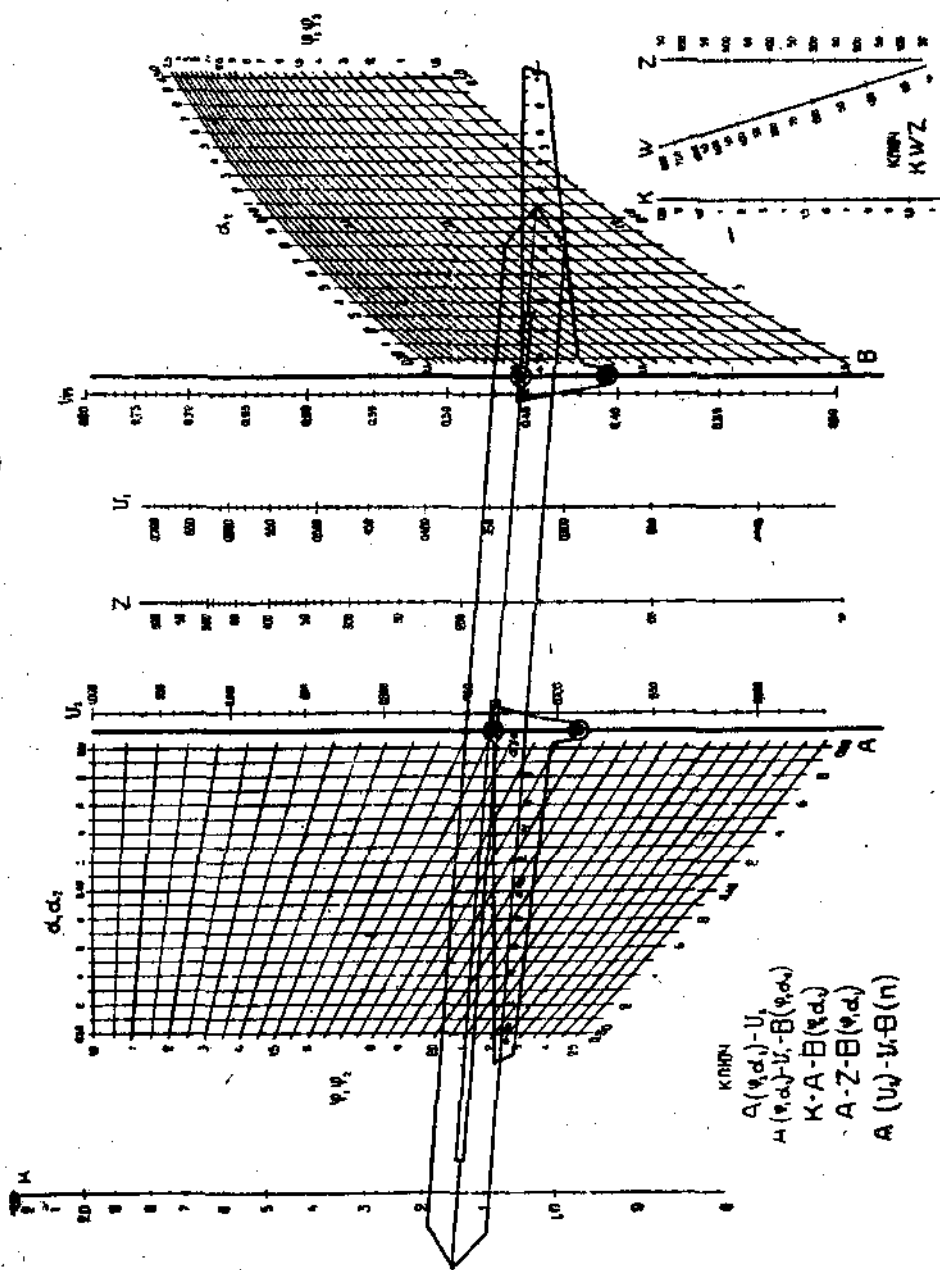


Рис. 57. Схема работы с механизированной номограммой. Позиция 2-ая.

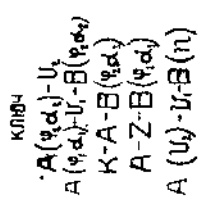


Рис. 58. Схема работы с механизированной лентограммой. Позиция 3-бэ.

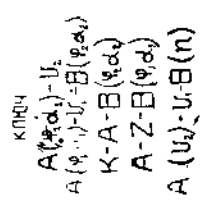


Рис. 59. Схема работы с механизированной номограммой, Позиция 4-ая.

2) Нахождение V_1 —Указатели устанавливаются: левый—на точке (α, φ_1) левого бинарного поля, правый—на точке (α, φ_2) правого бинарного поля (см. рис. 57 стр. 197). Указатели закрепляются их зажимами. Самоориентируемый транспорт отсекает на шкале искомое значение V_1 .

3) Нахождение z . —Оставляя закрепленным правый указатель (на шкале B), передвигают левый до пересечения чертой (на самоориентируемом транспорте) заданного значения цемента-водного фактора—на шкале k . В этом положении левый указатель закрепляется зажимом. Затем освобождается правый зажим и указатель передвигаются по шкале B до точки, отвечающей значениям α_1 и φ_1 на правом бинарном поле. Зажим закрепляется, и отсчитываются значения расхода цемента на шкале z , отсекаемые чертой транспорта. (см. рис. 58, стр. 198).

4) Нахождение w . —Расход воды определяется так же, как и на обыкновенной номограмме, наложением прозрачного транспорта с чертой (см. рис. 59, стр. 199).

Задача 2

1) Нахождение V_2 и V_1 . —Правый указатель устанавливается на значении n шкалы фактора отощателя, левый—на точке (α, φ_2) левого бинарного поля. Левый указатель дает значение расхода гравия V_2 . Самоориентируемый транспорт отсекает расход песка V_1 .

2) Нахождение φ_1 —Правый указатель устанавливается на точке (α, φ_2) правого бинарного поля и закрепляется, левый перемещается до пересечения самоориентируемым транспортом значения расхода песка на шкале V_1 . Левый указатель на левом бинарном поле на вертикали значения α_1 дает искомое значение φ_1 .

Задача 3

1) Нахождение φ_1 —Правый указатель устанавливается на точке (α, φ_2) и закрепляется. Левый указатель перемещается до тех пор, пока черта на самоориентируемом транспорте не отсечет на шкале z заданного расхода цемента, и также закрепляется. Затем правый зажим освобождается, и указатель перемещается до пересечения чертой самоориентируе-

мого транспоранта заданного значения цементно-водного фактора на шкале k , и зажим вновь закрепляется. Теперь указатель на правом бинарном поле, на вертикали значения α дает точку, соответствующую искомому коэффициенту уплотнения φ_1 .

При решении задач помощью номограммы, как обыкновенной, так и с ползучими шкалами, главное внимание надлежит обращать на точность и аккуратность производимых сносок и отсчетов. Каждую новую задачу нужно начинать после того, как с номограммы стерты резиной точки или черточки от решения предыдущей задачи (это указание, конечно, не касается механизированной номограммы).

Пример подбора состава бетона помощью номограммы.

Подобрать состав бетона с временным сопротивлением в возрасте 28 дней 180 кг. на кв. см. жесткой консистенции. Цемент—новороссийский. Коэффициенты пористости гравия и песка; $\alpha_2=0,34$ $\alpha_1=0,40$. Цементно-водный фактор, соответствующий требуемой прочности, равен 1,8.

Пользуясь общими указаниями, принимаем наименьшее значение $\varphi_2=1,2$ а для φ_1 берем предварительно 2,0.

I операция: $A (\varphi_2 \alpha_2) - V_2$

$$V_2 = 986 \text{ литр.}$$

II операция: $A (\varphi_1 \alpha_1) - V_1 - B (\varphi_2 \alpha_2)$

$$V_1 = 272 \text{ литр.}$$

Проверяем значение n :

$$A (V_2) - V_1 - B (n) \\ n > 2,5$$

Ввиду этого, для получения $n \approx 2,5$ увеличиваем φ_2 .

Принимаем $\varphi_2 = 1,60$.

Ставим такую задачу: для данных α_2 , α_1 , $\varphi_2 = 1,60$, $n = 2,5$, найти V_2 и V_1

Операция: $A (\alpha_2 \varphi_2) - V_2$

$$A (V_2) - V_1 - B (n)$$

Получаем $V_2 = 831$ литра

$$V_1 = 332 \text{ „}$$

Определяем φ_1 .

Операция $A (\varphi_1 \alpha_1) - V_1 - B (\varphi_2 \alpha_2)$

Получаем $\varphi_1 = 1,9$.

Определяем количество цемента и воды:

Операция: $K - A - B$ (φ, α_2)

$A - Z - B$ ($\varphi_1 \alpha_1$)

Получаем $Z = 281$ кгр.

$W = 158$ литра

Окончательно получаем рецепт:

$V_2 = 831$ литр

$V_1 = 332$ "

$Z = 284$ кг.

$W = 158$ литр.

Проектирование состава бетона для железобетонной обделки напорного тоннеля Дзорагетстроя¹⁾.

Согласно заданию, требовалось спроектировать состав бетона из искусственного отощателя, полученного машинным дроблением материала тоннельной выемки. Помимо этого материала мог быть пущен в дело естественный песок из Эчмиадзина.

Экономические требования сводились к достижению плотного бетона необходимой прочности, при расходе цемента не выше нормированного минимального (280 кг. на куб. м. бетона)²⁾ и минимальном расходовании эчмиадзинского песка, как более дорогого, чем отощатель из дробленной породы.

Требуемое временное сопротивление бетона в возрасте 28 дней таково:

на сжатие 180 кг. на кв. см.

на растяжение при изгибе . . 24 " " " "

Цемент предположен новороссийский, портландский. Так как цемент этот уже изучен в лаборатории Закавказского Института Сооружений, то проектирование состава бетона сводилось к изучению отощателя.

Задача осложнялась требованием достижения соответствующей прочности бетона на растяжение. В этой части работы лаборатория остановилась на методике, изложенной доктором Ольсеном в докладе его, сделанном 9 марта 1929 г. на 32-м съезде Германского Бетонного Союза в Берлине. (Доклад помещен в №№ 11 и 12 Beton und Eisen, Июнь 1929 г.).

¹⁾ Работа выполнена Н. А. Агрызовым.

²⁾ Нормы 1929 года.

Ольсен подробно излагает свою работу по проектированию состава бетона высокой прочности на растяжение для жел. бет. напорной трубы протяжением в 10 км., устроенной на установке „Средний Изар“.

Ольсен подразделяет свою работу на 2 отдела:

1. Изучение раствора.
2. Изучение бетона.

Согласно нашему методу проектирования состава бетона, мы могли перейти непосредственно ко второй части задачи, так как мы ограничиваемся зависимостью: цементное тесто—бетон, а цементное тесто, как мы уже упомянули, изучено в лаборатории.

Ольсен производил свои опыты на бетонных брусках сечением 15×15 и длиной в 70 см. Прочность на непосредственное растяжение Ольсеном не определялась. Он ограничивался определением напряжения при изгибе. Балки испытывались Ольсеном на специальном станке. Мы остановились на брусках размером $15 \times 20 \times 75$ см. Изгиб и разрушение брусков производились на прессе Амслера. Консистенция бетона при опытах Ольсена мерилась исключительного по растеканию, а не по сплыву конуса.—„Сплыв конуса, изготовленного для изучения величины растекания его, не измерялся, так как мера эта оказалась ненадежной“. Мнение этого авторитетного специалиста лишний раз подтверждает ненадежность проектирования состава бетона по методу Абрамса, основой которого является уравнение, содержащее эту сомнительную величину.

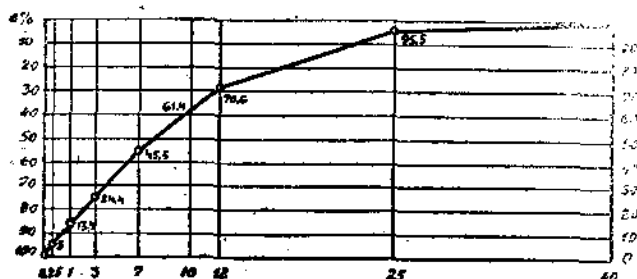
Мы измеряли консистенцию на столике для встряхивания. Одновременно с балкой изготовлялись кубики для определения прочности бетона балок на сжатие и выявления зависимости между прочностью бетона на растяжение при изгибе и кубиковой его прочностью на сжатие.

Отощатель, полученный машинным дроблением материала тоннельной выемки характеризуется кривой грануляции, представленной на рисунке № 60 (см. стр. 205).

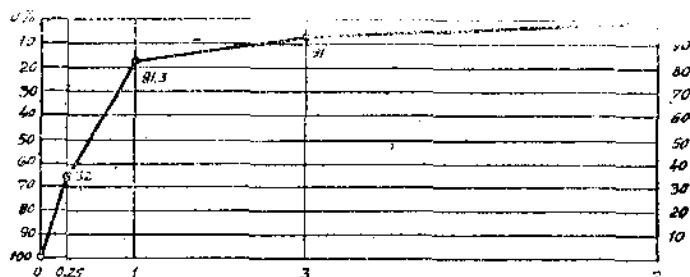
Песок эчмиадзинский:

Содержание органических веществ (по Абрамсу)—вполне удовлетворительное.

Удельный вес 2,78
 Объемный вес 1,72 т/м³
 Коэффициент пористости . . . $\frac{2,78-1,72}{2,78}=0,38=38\%$



Черт. 60. Кривая грануляции отощателя из тоннельной выемки — в естественном состоянии.



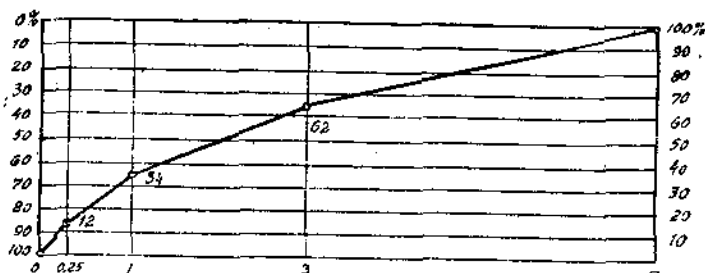
Черт. 61. Кривая грануляции эчмиадзинского песка.

Песок искусственный из тоннельной выемки (порфириновый), полученный отсеиванием продукта дробления через сито с отверстиями в 7 мм.:

Удельный вес 2,5
 Объемный вес 1,4 т/м³
 Коэффициент пористости . . . $\frac{2,5-1,4}{2,5}=0,44=44\%$

Содержание тончайшей пыли — 1%. Пыль порфировая не вымывалась, так как способствовала уплотнению бетона. Камневида не видна.

Щебень порфировый из тоннельной выемки, прошедший через сито с отверстиями в 40 мм. и оставшийся на сите с отверстиями в 7 мм.:

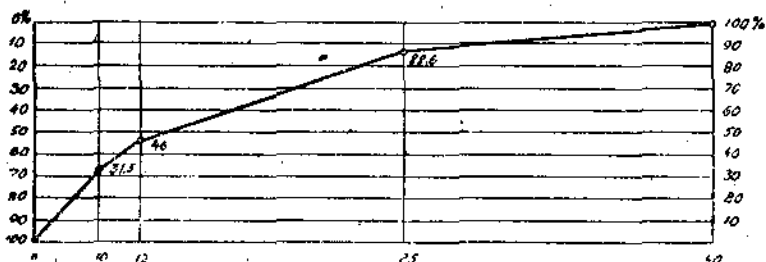


Черт. 62. Кривая грануляции искусственного песка.

Удельный вес 2,7

Объемный вес 1,56 т/м³

Коэффициент пористости . . $\frac{2,7 - 1,56}{2,7} = 0,42 = 42\%$



Черт. 63. Кривая грануляции щебня.

Большое содержание пустот как в щебне, так и в искусственном песке, а также неправильная и угловатая форма зерен вызывают большой расход цемента для получения плотного и прочного бетона удобной для работы консистенции.

Добавление естественного эчмиадзинского песка к искусственному заметно уплотняет смесь и повышает подвижность ее.

Выше было указано, что эчмиадзинский песок дорог, и расход его должен быть ограничен необходимым минимумом, при котором возможно спроектировать состав бетона, не превышая нормированного расхода цемента.

Нами предварительно было изучено влияние добавки эчмиадзинского песка на плотность и подвижность смеси пес-

ков. Мы изготовили смеси песков эчмиадзинского и искусственного в объемном отношении 1:3; 1:2; 1:1 и определили пористость смесей и текучесть их. В результате опытов мы остановились на смеси 1:1.

Ниже приводим описание работы со смесью песков в объемном отношении 1:1. Теоретический удельный вес смеси при объемном отношении 1:1 зависит от объемн. и удельных весов ингредиентов.

Обозначим объемы через V_1 и V_2
 объемные веса " ρ_1 и ρ_2
 Удельные веса " γ_1 и γ_2
 Удельный вес смеси " γ

Согласно заданию $\frac{V_1}{V_2} = n$

Вес смеси равен сумме весов $V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2$

Объем тела смеси равен сумме объемов

$$\frac{V_1 \rho_1}{\gamma_1} + \frac{V_2 \rho_2}{\gamma_2} = \frac{V_1 \rho_1 \gamma_2 + V_2 \rho_2 \gamma_1}{\gamma_1 \gamma_2}$$

Искомый удельный вес смеси $\gamma = \frac{V_1 \rho_1 + V_2 \rho_2}{V_1 \rho_1 \gamma_2 + V_2 \rho_2 \gamma_1} \gamma_1 \gamma_2 =$

$$= \frac{\rho_1 + \frac{V_2}{V_1} \rho_2}{\rho_1 \gamma_2 + \frac{V_2}{V_1} \rho_2 \gamma_1} \gamma_1 \gamma_2 = \frac{\rho_1 + n \rho_2}{\rho_1 \gamma_2 + n \rho_2 \gamma_1} \gamma_1 \gamma_2 = \frac{\rho_1 + n \rho_2}{\frac{\rho_1}{\gamma_1} + n \frac{\rho_2}{\gamma_2}}$$

$$\gamma = \frac{\rho_1 + n \rho_2}{\frac{\rho_1}{\gamma_1} + n \frac{\rho_2}{\gamma_2}}$$

В нашем случае: $n=1$ $\rho_1 = 1,72 \text{ т/м}^3$ $\gamma_1 = 2,78$
 $\rho_2 = 1,4 \text{ т/м}^3$ $\gamma_2 = 2,5$

$$\gamma = \frac{1,72 + 1,4}{\frac{1,72}{2,78} + \frac{1,4}{2,5}} = \frac{3,12}{0,62 + 0,56} = \frac{3,12}{1,13} = 2,644$$

Действительный удельный вес смеси определяется обычным способом — путем отбора навески в 1 кг. и погружения ее в мерный цилиндр с водой.

Чем лучше смешиваются пески, тем менее удельный вес фактический отличается от теоретического.

Мы ограничились определением удельного веса одной пробы смеси, так как в данном случае результаты работы с одной пробой будут характернее, чем среднее из трех проб, ибо нас интересует контроль качества смешивания.

Навеску в 1 кг. мы осторожно засыпаем в литровый мерный цилиндр, заполненный водой до отметки 500 куб. см. Для точного отсчета уровня, устанавливающегося после засыпки песка, мы подняли уровень до ближайшей метки цилиндра, долив воду из узкого мерного цилиндрика, заполненного водой до отметки 20 куб. см.

Отсчет уровня в цилиндре 880 куб. см.

Отсчет уровня в цилиндрике 18 " "

Объем воды, вытесненной песком:

$$880 + 18 - (500 + 20) = 378 \text{ куб. см.}$$

Удельный вес песка:

$$1000 : 378 = 2,646$$

Разность удельных весов, определенных теоретически и фактически, лежит в пределах точности измерений, что указывает на хорошее смешивание.

Объемный вес смеси определяется посредством взвешивания мерного сосуда, заполненного смесью. Он оказался равным 1,68 т/м³.

Объем пустот смеси:

$$\frac{2,65 - 1,68}{2,65} = 0,366 \approx 0,37 = 37\%.$$

Пористость смеси песков меньше, чем пористость эчмиадзинского песка (38%) и на 7% меньше, чем пористость искусственного песка. Уменьшение пористости песка весьма полезно, так как ведет к экономии цемента. При составе смеси 1 ; 2 (один объем эчмиадзинского песка к двум объемам искусственного) пористость равна 42%.

Число ударов	Энциклопедический песок					Порфировый песок					Смесь 1: 1 искусствен. (порф.) с энцикл.				
	I исп.	II исп.	III исп.	Ср.	Колес.	I исп.	II исп.	III исп.	Ср.	Колес.	I исп.	II исп.	III исп.	Ср.	Колес.
0	20,0	20,0	19,8	19,9	+0,1	19,2	19,9	18,5	19,2	+0,7	19,6	19,8	19,8	19,7	+0,1
5	22,7	22,7	22,6	22,7	-0,1	22,1	22,4	22,0	22,2	+0,2	22,4	22,6	22,6	22,5	+0,1
10	23,2	23,2	23,3	23,2	+0,1	22,5	22,9	22,4	22,6	+0,2	23,0	23,2	23,1	23,1	+0,1

Подвижность песка мы определяем следующим образом. На столике для встряхивания устанавливается конус Абрамса и заполняется испытуемым песком. Верхушка конуса сглаживается правилом, а затем форма осторожно поднимается, и мерится величина осыпания конуса. После пяти ударов вновь замеряется величина осыпания — и т. д. через каждые пять ударов. Результаты измерения наносятся в виде кривой, при чем по оси абсцисс откладывается число ударов, а по оси ординат — величина осадки в см., которая и служит мерилом подвижности песка.

Осадка конуса при нуле ударов, то-есть немедленно после поднятия конуса, зависит в известной степени от сноровки экспериментатора и структуры зерна.

Наибольшее колебание против среднего значения дал искусственный песок: при нуле ударов +0,7; при 5 ударах это колебание понижается до +0,2. (См. таблицу).

При производстве ударов наблюдается расслаивание песка, при чем образуется плотный центр, мало оседающий в дальнейшем. Нам кажется целесообразным остановиться

на измерении осадков после пяти ударов. При этом числе ударов нивелируется влияние индивидуальных свойств экспериментаторов и не происходит еще заметного расслаивания песка.

Если мы сравним результаты испытаний эчмиадзинского песка, искусственного и смеси в отношении 1:1, то заметим, что при пяти ударах осадки соответственно равны 22,7 см., 22 см., 22,5 см. (см. рис. 64).

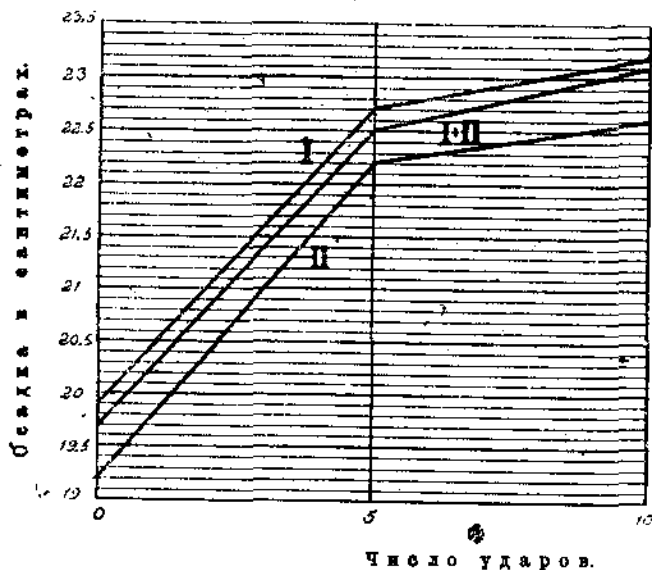


Рис. 64. Кривые осадки песков в зависимости от числа ударов:

- I.—Эчмиадзинский песок (естественный)
- II.—порфитовый песок (дробленный)
- III.—смесь обоих песков.

Подвижность смеси лежит между подвижностью ингредиентов.

При смеси 1:2 подвижность была близка к подвижности искусственного песка.

На основании описанных опытов мы остановились на смеси в отношении 1:1. Грануляция смеси представлена на рис. 65.

Так как пески смешиваются в объемном отношении 1:1, то весовое отношение их в смеси равно $1,72:1,40=1,23:1$.

Весовая доля эчмиадзинского песка равна $\frac{1,23}{1,23 + 1} = 0,55$,

а искусственного — 0,45.

Ординаты кривой грануляции смеси (С) определяются из равенства $C = 0,55 \text{ Э} + 0,45 \text{ И}$, где Э — ордината кривой грануляции эчмиадзинского песка, а И — ордината кривой грануляции искусственного песка.

$$C_{0,25} = 0,55 \times 0,323 + 0,45 \times 0,12 = 0,178 + 0,054 = 0,232 = 23,2\%$$

$$C_1 = 0,55 \times 0,813 + 0,45 \times 0,34 = 0,446 + 0,153 = 0,599 = 59,9\%$$

$$C_3 = 0,55 \times 0,91 + 0,45 \times 0,62 = 0,500 + 0,279 = 0,779 = 77,9\%$$

Прежде чем перейти к описанию подбора состава бетона, мы должны отметить одно важное обстоятельство, а именно уменьшение объема смеси песков по сравнению с первоначальным объемом ингредиентов.

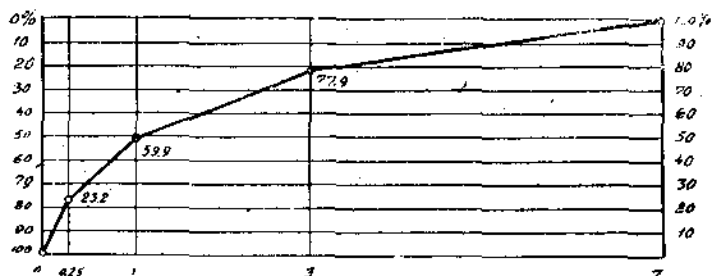


Рис. 65. Кривая грануляции смеси песков.

Если бы при смешивании песков объем их оставался без изменения, то объемный вес смеси был бы равен полусумме объемных весов обоих песков, то есть он был бы равен

$$\frac{1,72 + 1,4}{2} = 1,56 \text{ т/м}^3.$$

Действительный объемный вес смеси оказался равным 1,68 т/м³. Коэффициент уменьшения объема:

$$1,56 : 1,68 = 0,93.$$

Подбор состава бетона.

Песок характеризуется кривой грануляции (рис. № 65). Объем пустот — 37%. Камневидная характеризуется кривой грануляции (рис. № 63). Объем пустот — 42%. Цемент характеризуется кривой прочности (рис. № 5, стр. 17). Так как камне-

видной является щебень, то при назначении ц. в. фактора мы можем пойти в сторону уменьшения его по сравнению со случаем изготовления гравелистого бетона. В виду сложности структуры щебенистых бетонов, цементный камень меньше напряжен, чем в гравелистых бетонах, а следовательно, может быть допущено понижение ц. в. фактора. Обычно мы принимаем для бетонов марки № 2 изготавливаемых из новороссийского портланд-цемента, ц. в. фактор 1,8; в данном случае мы остановились на ц. в. факторе 1,6 (см. кривые прочности). Так как расход цемента нормирован в 280 кг. на кубометр бетона, то нетрудно найти расход цементного теста.

$$\text{Расход воды} - \frac{280}{1,6} = 175 \text{ литров}$$

$$\text{Об'ем цемента в тесте} = \frac{280}{3} = 95 \text{ литров.}$$

Об'ем цементного теста на кубометр бетона:

$$95 + 175 = 270 \text{ литров.}$$

Нам предстоит решить задачу о подборе бетона при заданном расходе цем. теста и данных песке и камневидной.

Так как об'ем пустот в песке на много меньше, чем в щебне, то, принимая обычное отношение об'ема песка к щебню 1:2, мы получим бетон с большим коэффициентом заполнения пустот в песке, хорошей консистенции и достаточной плотности.

Так как состав мы будем задавать в виде отношения об'емов песка естественного, искусственного и щебня 1:1:4, то в действительности наш состав выразится отношением:

$$0,93:2 = 0,465$$

Смесь обоих песков составит 0,465 об'ема щебня.

Обозначим расход щебня через — X.

Тогда расход песка будет равен 0,465 X

Об'ем тела щебня X (1 — 0,42) = 0,58 X

Об'ем тела песка — 0,465 (1 — 0,37) X = 0,263 X

Об'ем тела отошателя — 0,873 X

Так как расход цементного теста на кубометр бетона равен 270 литрам, то X определится из равенства:

$$0,873 X = 1,000 - 0,2 = 0,73 \text{ м}^3$$

$$X = 0,73 : 0,873 = 0,835 \text{ м}^3.$$

$$\text{Расход щебня} \dots\dots\dots 0,835 \text{ м}^3$$

$$\text{„ песка эчмиадзинского} \dots\dots\dots 0,209 \text{ „}$$

$$\text{„ песка искусственного} \dots\dots\dots 0,209 \text{ „}$$

$$\text{Расход цемента} \dots\dots\dots 280 \text{ кгр.}$$

$$\text{„ воды} \dots\dots\dots 175 \text{ литров.}$$

$$\text{Проверка} \quad \text{об'ем тела} \quad \text{об'ем пустот}$$

$$\text{Щебень} \dots\dots\dots 0,835 \times 0,58 = 0,485 \text{ м}^3 \quad 0,350 \text{ м}^3$$

$$\text{Песок эчмиадзинский} \dots\dots\dots 0,209 \times 0,62 = 0,130 \text{ „}$$

$$\text{„ искусственный} \dots\dots\dots 0,209 \times 0,56 = 0,117$$

$$\text{Цементное тесто} \dots\dots\dots = 0,270 \text{ м}^3$$

$$1,002 = 1,000 \text{ м}^3$$

Коэффициент заполнения пустот в песке

Об'ем пустот в смеси песков:

$$\text{Расход смеси песков} \quad 0,465 \times 0,835 = 0,390 \text{ м}^3$$

$$\text{Об'ем пустот} \dots\dots\dots 0,39 \times 0,27 = 0,144 \text{ „}$$

Коэффициент заполнения

$$\frac{270}{144} = 1,9$$

Коэффициент заполнения пустот в щебне

Об'ем тела раствора:

$$0,130 + 0,117 + 0,270 = 0,517 \text{ м}^3$$

$$\text{Об'ем пустот щебня} \dots\dots\dots 0,350 \text{ м}^3$$

$$\text{Коэффициент заполнения} \quad \frac{0,517}{0,350} = 1,5$$

Коэффициент уплотнения бетона.

Коэффициент уменьшения об'ема отощателя определен в 0,78

$$\begin{aligned} \text{Имеем} &= \frac{1,87 \times 0,37}{(0,37 - 0,22) + (0,42 - 0,22)} = \frac{0,69}{1} = 0,15 + 0,43 \\ &= \frac{0,69}{0,58} = 1,20 \end{aligned}$$

Теоретический об'емный вес.

Вес щебня	$0,835 \times 1,56 = 1,300$
Вес песка эчмидзинского	$0,209 \times 1,40 = 0,292$
Вес песка искусственного	$0,209 \times 1,72 = 0,358$
Вес теста	$0,280 + 0,175 = 0,455$
	2,405

Кривая грануляции отощателя

Об'емное отношение смеси песка к щебню равно 0,465.

Об'емные веса соответственно равны 1,68 и 1,56.

Весовые отношения равны

$$\frac{0,465 \times 1,68}{1,56} = 0,5$$

Весовая доля песков в отощателе равна:

$$\frac{0,5}{1 + 0,5} = 1/3$$

Ординаты кривой грануляции смеси песков войдут в кривую грануляции отощателя с коэффициентом $1/3$, а ординаты кривой грануляции щебня — с коэффициентом $2/3$. В результате подсчета имеем кривую грануляции отощателя (см. рис. 66).

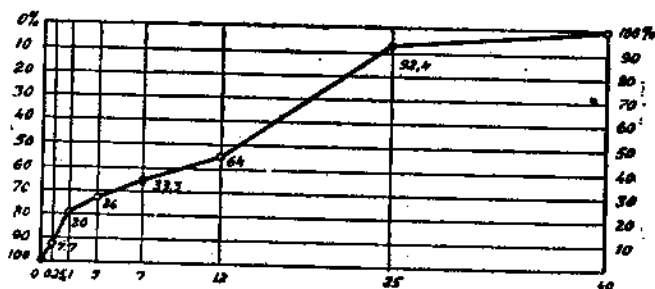


Рис. 66. Кривая грануляция отощателя в смеси.

Об'емный вес изготовляемых кубиков:

$$2,392 \text{ т/м}^3$$

Поправочный коэффициент для сохранения нормированного расхода цемента:

$$\frac{2,392}{2,405} = 0,995$$

Окончательный лабораторный состав бетона:

Щебня $0,835 \times 0,99 \dots = 0,828 \text{ м}^3$

Песков по $\dots = 0,207 \text{ „}$

Цементы $\dots = 280 \text{ кг.}$

Воды $\dots = 175 \text{ литров.}$

Результаты испытания образцов таковы:

№ № по пор.	Прочность в кг/см²				
	На растяже- ние при из- гибе		На сжатие		
	В в о з р а с т е				
	7 дн.	28 дн.	7 дн.	28 дн.	
451	24,9	—	—	—	С о с т а в: Щебня 0,828 м³. Песка эчминадзинского 0,207 „ „ искусственного 0,207 „ Цементы 280 кгр. Воды 175 л. К о н с и с т е н ц и я п л а - с т и ч н а я .
451 а	29,6	—	—	—	
451 б	23,3	—	—	—	
452	—	—	120	—	
453	—	—	130	—	
454	—	32	—	—	
454 а	—	36,3	—	—	
454 б	—	34,7	—	—	
455	—	—	—	120	
456	—	—	—	180	
457	—	27	—	—	
457 а	—	35	—	—	
457 б	—	32	—	—	
457	—	—	—	180	
459	—	—	—	175	

Описанный подбор состава бетона был произведен в 1929 г. В настоящее время электростанция передается в эксплуатацию и сооружения подверглись испытанию.

„Испытания отдельных сооружений дали блестящие результаты. При испытании напорного тоннеля на фильтрацию, определалась утечка воды в количестве 0,9 литра на 1 тысячу кв. метров площади туннеля—против 1,5 литра, предусмотренных по проекту“—„Заря Востока“ от 15 апреля 1932 года.

ОТДЕЛ ТРЕТИИ

ПРИЛОЖЕНИЯ:

ПРИЛОЖЕНИЕ ПЕРВОЕ

„Инструкция по проектированию
состава бетона и контролю его
качества в производстве работ“

ПРИЛОЖЕНИЕ ВТОРОЕ

Перевод статьи Донован Вернера и Сиг Гиртц-Гедстрема

„Зависимость технически важных
качеств бетона от физико-хими-
ческих свойств цемента“.

Перевод и примечания Ю. Я. ШТАЕРМАНА.

ИНСТРУКЦИЯ

по проектированию состава бетона и контролю его качества в производстве работ.

§ 1.—Для получения в сооружении однородного качества бетона требуемой марки при наименьшей стоимости и наименьшем расходе цемента, необходимо соблюдение следующих условий:

а) установление правильного соотношения между составными частями замеса (цемент, вода и отощатель) в зависимости от требуемой прочности бетона, способа и условий его укладки в формы и качества материалов;

б) контроль над наблюдением этих соотношений во время изготовления бетона;

в) контроль над соблюдением правильного времени перемешивания бетона и технически правильной транспортировки и укладки его;

г) наблюдение над правильным уходом за бетоном во время твердения для поддержания наиболее благоприятных условий в отношении влажности и температуры.

§ 2. Указанные меры и представляют собой контроль качества бетона в производстве работ.

Они составляют неразрывную цепь, каждое звено которой необходимо для достижения поставленной цели.

Одно лишь правильное решение задачи дозировки составных частей замеса без последующего наблюдения за строгим соблюдением назначенных соотношений дозировки является совершенно недостаточным.

Проведение всех мероприятий указанного контроля от начала до конца требует выделения на постройке специального лица, непосредственно наблюдающего за качеством бетона. Техническим аппаратом этого лица является местная полевая лаборатория.

В зависимости от объема ее оборудования и организации работ данного предприятия, эта лаборатория:

1) либо ведет контроль по п.п. „б“, „в“ и „г“ предыдущего параграфа, а по п. „а“ выполняет лишь простейшие исследования качества материалов, при чем детальное обследование материалов и установление пропорции составных частей бетона производится центральной или районной лабораторией;

2) либо производить полностью контроль над бетоном.

§ 3. Для установления правильных пропорций составных частей замеса (цемент, вода, мелкий и крупный отощатель необходимо исходить из следующих положений:

а) бетон в сооружении, как материал, характеризуется двумя основными свойствами—механической прочностью и консистенцией при укладке;

б) за характеристику механических качеств бетона в сооружении принимается временное сопротивление сжатию в возрасте 28 дней кубика (изготовленного стандартным путем из бетона, идущего в дело) и хранившегося до испытания во влажных опилках в помещении с температурой около 15—20° С;

в) величина требуемого сопротивления сжатию определяется заданной при проектировании маркой бетона или принятым в проекте допускаемым напряжением и коэффициентом запаса;

г) консистенция бетона характеризует относительную пластичность бетонной массы тот час же после выхода из бетоньерки.

До стандартизации метода измерения консистенции, таковая оценивается при помощи одного из следующих трех приборов: столик Бетке, столик Скрамтаева, конус Абрамса.

Консистенция бетона выбирается, исходя из принятого

метода транспортирования, укладки бетонной массы и условий правильного заполнения форм и облегания арматуры.

Таким образом, для разрешения задачи об установлении необходимых соотношений между составными частями замеса должны быть заданы: а) временное сопротивление сжатию в возрасте 28 дней и б) консистенция бетона.

§ 4. Временное сопротивление бетона (прочность его) зависит (при нормальных условиях твердения, чистом, неыветрившемся отощателе) почти исключительно от качества цемента и соотношения (весового) количества воды и цемента в замесе.

При определенном цемента можно считать, что прочность бетона зависит преимущественно от соотношения

$$\frac{\text{цемент}}{\text{вода}} = \frac{Z}{W}$$

Таким образом, требуемое временное сопротивление стандартного бетонного кубика определяет соотношение в замесе составных частей цементного теста—воды и цемента.

§ 5.—Количество идущего в замес отощателя и соотношение мелкой и крупной составляющих определяются из условия, что при установленном уже из требований прочности отношении $\frac{Z}{W}$ смесь имела требуемую консистенцию,

Таким образом, соотношение между количеством цементного теста (вода+цемент) и отощателем, а следовательно, расход цемента на кубический метр бетона определяется лишь требуемой консистенцией бетонной массы при принятом уже $\frac{Z}{W}$. Соотношение же между количествами зерен разной круп-

ности в отощателе—их гранулометрический состав—существенно влияет на консистенцию и тем самым—на расход цемента на кубический метр бетона.

Поэтому в интересах экономии цемента желательно подбирать соотношение между песком и камневидной так, чтобы получать требуемую консистенцию при наибольшей добавке отощателя к цементному тесту.

§ 6.—Таким образом, метод установления пропорций в замесе заключается в том, что требуемая прочность бетона

определяет соотношение весовых количеств воды и цемента $\left(\frac{z}{w}\right)$, а требуемая консистенция определяет, какой объем отощателя должен быть дан на установленное весовое количество цемента и воды и как должен быть составлен отощатель.

При проведении этих операций необходимо провести исследование свойств и качества применяемых материалов.

§ 7.—Схема настоящей инструкции принята следующая:

В разделе II даны указания, относящиеся к исследованию составных частей замеса, и методика ведения операций по исследованию применяемых материалов.

В разделе III говорится об общих условиях проектирования состава бетона и технике проведения операций по изготовлению пробных составов.

В разделе IV даны указания о порядке ведения систематических операций контроля во время производства работ, включая сюда систематический контроль материалов, наблюдение за дозировкой, способом приготовления и уходом за бетоном.

Раздел II. Исследование материалов и методика испытаний.

А. Ц Е М Е Н Т

§ 8.—Исследование цемента производится согласно требованиям ОСТ 1309 и 1310.

С. С. С. Р. Совет труда и Оборон Комитет по Стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ 1309
	Определение и химический состав.	МБИ (1.1.В): : 691.54
	Технические условия. Отбор проб ¹⁾	Взамен ОСТ 77

А. Определение и химический состав.

Портланд-цемент есть гидравлическое вяжущее вещество—продукт тонкого перемолла клинкера, получаемого равномерным обжигом до спекания тщательно дозированных

¹⁾ Данный стандарт в части технических условий и отбора проб не распространяется на высокосортный портланд-цемент.

искусственных смесей материалов, содержащих углекислую известь и глину, или естественных материалов (мергелей) надлежащего состава; при применении искусственных смесей глина может быть заменена полностью или частично другими материалами надлежащего химического состава (доменный шлак, трепел, диатомит и т. п.).

Количество гипса, прибавляемого к клинкеру при его перемоле для замедления схватывания портланд-цемента, не должно превышать 3% по весу. Кроме того для улучшения качества цемента допускается добавка к клинкеру при его перемоле до 5% гидравлических добавок, применяемых при изготовлении шлаковых и пуццолановых портланд-цементов (без изменения наименования продукта).

Отношение выраженных в процентах весового количества окиси кальция (CaO) к сумме весовых количеств кремнезема, глинозема и окиси железа ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), т. е. значение величины.

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

(„основной“ или „гидравлический“ модуль), в готовом продукте должно быть не менее 1,7 и не более 2,4.

Количество ангидрида серной кислоты (SO_3) в готовом продукте не должно превышать 2,5%, а количество окиси магния (MgO)—5%. Потеря при прокаливании не должна быть более 4%.

Б. Классификация

(по механической прочности).

В зависимости от механической прочности портланд-цемент делится на три марки: портланд-цемент „0“ (обыкновенный), „00“ (повышенный) и „000“ (высокосортный).

В. Технические условия.

а) Удельный вес.—Величина удельного веса не нормируется.

Примечание. По требованию заказчика завод обязан представить средние данные об удельном весе выпускаемого портланд-цемента.

б) *Сроки схватывания.*—Начало схватывания должно наступать не ранее 20 минут, а конец схватывания—не позднее 12 часов от начала затворения.

Примечание. По соглашению между поставщиком и потребителем допускаются и иные сроки схватывания.

в) *Равномерность изменения объема* (прежнее обозначение—„постоянство объема“).—Портланд-цемент должен обнаруживать равномерность изменения объема при испытании в воде, а также при горячих пробах.

г) *Тонкость помола.*—Остаток на сите в 900 отверстий на 1 см^2 не должен быть более 2% (от навески). Через сито 4900 отверстий на 1 см^2 должно проходить не менее 75% (от навески).

д) *Временное сопротивление растяжению.*—Портланд-цемент должен показать временное сопротивление растяжению не ниже следующих величин, выраженных в килограммах на квадратный сантиметр:

Название цемента (марка)	Чистый портланд-цемент 1:0			Раствор с нормальным песком 1:3		
	Через 4 дня ¹⁾	Через 7 дней	Через 28 дней	Через 4 дня ¹⁾	Через 7 дней	Через 28 дней
Портланд-цемент „60“ (повышенный)	25	30	45	12	16	25
Портланд-цемент „0“ (обыкновенный)	20	25	35	10	12	16

е) *Временное сопротивление сжатию.*—Раствор с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен показать временное сопротивление сжатию не ниже следующих величин, выраженных в килограммах на квадратный сантиметр:

¹⁾ Четырехдневные испытания необязательны. В случае неудовлетворительного результата ускоренной пробы, решающими считаются 7-дневные и 28-дневные испытания; в случае удовлетворительного резуль-

Наименование цемента (марка)	Через 4 дня ¹⁾	Через 7 дней	Через 28 дней
Портланд-цемент „00“ (повышенный)	120	180	275
Портланд-цемент „0“ (обыкновенный)	70	100	160

Г. Отбор проб и общие указания по приемке.

а) Поставка, заключающая более 3000 бочек делится на партии по 3000 бочек, при чем остаток менее 3000 бочек считается также полной партией. Из каждой партии, по указанию приемщика, берут 9 бочек и из каждой избранной бочки, из средней ее части, отбирают 5 кг цемента. При поставке менее 3000 бочек вся поставка составляет одну партию, при чем число проб для испытания должно равняться 9. При поставке менее 500 бочек допускается приемка упрощенным способом, а именно производится только проба на равномерность изменения объема, и принимаются во внимание результаты испытаний заводской лаборатории.

В случае укупорки цемента в мешки или в иную тару, всю поставку разбивают на партии по 500 тонн каждая. Из каждой партии отбирают 9 проб по 5 кг.

При приемке цемента на заводе отбор проб производится при насыпке цемента в тару, при чем от каждых 500 тонн отсыпают 9 раз по 5 кг.

Отобранные для каждой партии 9 проб тщательно смешивают вместе и затем делят на три равных части, из которых одна предназначается для приемщика, другая — для поставщика, третья — для возможных повторных испытаний.

Все пробы должны быть отобраны в присутствии приемщика на заводе, складе поставщика или складе потребителя.

Отбираемые приемщиком бочки или мешки должны помечаться его условным знаком.

Предназначаемые для испытания пробы должны помещаться для каждой партии в отдельную стеклянную или жестяную ускоренной пробы и соответствии портланд-цемента всем остальным условиям стандарта, портланд-цемент может быть принят без 7-дневных и 28-дневных испытаний.

тяную герметически закрываемую тару и опечатываться печатями приемщика и поставщика.

Примечание. В исключительных случаях допускается для проб деревянная упаковка.

б) Одна проба от каждой партии передается приемщику, вторая — поставщику, а третья сохраняется в каком-либо месте по соглашению сторон.

в) Для каждой партии производится все испытания для определения свойств, установленных техническими условиями данного стандарта.

г) Химический анализ обязателен один на всю поставку.

д) В случае, если какая-либо партия при испытаниях окажется неудовлетворительной, ее разбивают на полупартии, от каждой полупартии берут пробы как от целой партии, и полученные таким образом две пробы подвергаются всем установленным испытаниям.

В случае повторной неудовлетворительности результатов испытаний, бракуется полупартия, давшая неудовлетворительный результат.

Д. Упаковка.

а) Бочки должны иметь одинаковый вес: 155 кг нетто (около 165 кг брутто) и 170 кг нетто (около 180 кг брутто).

Бумажные мешки или мешки из ткани должны иметь одинаковый вес — 50 кг нетто.

б) На бочках должны быть обозначены: название завода и объединения, название цемента (марки), номер заводской партии и год изготовления цемента.

в) Убыль от раструски определяется для каждой отдельной поставки соглашением между поставщиком и покупателем, в зависимости от размера поставки, но она не должна превышать 2%.

Примечание. Портланд-цемент может отпущаться заводом по соглашению сторон в навалку, в закрытых, соответствующим образом оборудованных, вагонах (без тары).

Обязательство поставки портланд-цемента не в боч-

ках должно быть оговорено в договоре поставщика с покупателем.

Методы механических испытаний — см. ОСТ 1310.

Методы химического анализа — см. ОСТ 79.

С. С. С. Р. Совет Труда и Обороны Комитет по Стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ 1310
	ПОРТЛАНД-ЦЕМЕНТ Методы механических испытаний.	МБИ (1.1. В): 691.54
		Взамен ОСТ 78

I. Общие указания

а) Поступающие в лабораторию пробы цемента следует хранить до их испытания в сухом помещении в той таре, в которой они были доставлены. В тех случаях, когда пробы доставляются в подмоченной или поврежденной таре, цемент необходимо пересыпать в металлическую или стеклянную, плотно закрывающуюся тару. В рабочем журнале следует отмечать вид и состояние тары, в которой была доставлена проба.

б) Перед производством испытания каждая проба пропускается через сито в 64 отверстия на 1 см²; после просеивания необходимо цемент перемешать.

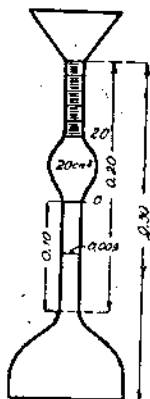
в) Перед испытанием цемент, песок и воду следует выдерживать в лаборатории до принятия ими постоянной температуры. В рабочем журнале рекомендуется ежедневно отмечать температуру помещений, в которых производятся испытания; наиболее подходящей является температура от +15° до +20°C.

г) Вода для испытаний может применяться как дистиллированная, так и из водопровода (питьевая). Отмеривание воды должно производиться по весу или об'ему. Сосуд, в который наливают воду, должен тарироваться в смоченном внутри состоянии.

д) Особое внимание должно быть обращено на однообразие и правильность приемов при изготовлении образцов и производстве испытаний и на возможно полную механизацию

цию всех операций (в целях достижения сравнимости результатов).

II. Определение удельного веса (факультативное)



Черт. 1.

а) Определение удельного веса производится в приборе Ле-Шателье-Кандло (черт. 1), который должен быть предварительно выверен.

б) Прибор помещают в стеклянный сосуд с водой так, чтобы вся градуированная часть прибора была погружена в воду. Во избежание всплывания, прибор закрепляют в специальном штативе. Необходимо наблюдать, чтобы как при первом, так и при втором отсчетах температура воды в сосуде была одна и та же.

в) Прибор наполняется безводным тяжелым бензином (за неимением последнего можно брать керосин или бензол) до нижней нулевой черты, что устанавливается по нижнему мениску, после чего свободная от бензина часть прибора (выше нулевой черты) тщательно протирается тампоном из фильтровальной бумаги.

г) Отвешивают с точностью до 0,01 г 90—100 г цемента, предварительно высушенного в течение 1 часа при 120°C и затем охлажденного в эксикаторе. Через воронку прибора совочком или ложечкой цемент высыпают небольшими равномерными порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не поднимется до черты с делением 20 см³ или с любым другим делением в пределах градуированной части прибора.

д) В случае образования пробок в приборе, их проталкивают тонкой проволокой. Перед вторым отсчетом рекомендуется, для удаления пузырьков воздуха, повернуть несколько раз прибор вокруг его вертикальной оси.

е) Остаток цемента после испытания взвешивают. Разность между обоими взвешиваниями, определяющая количество всыпанного в прибор цемента, деленная на величину

вытесненного объема жидкости, выражает удельный вес цемента.

ж) Удельный вес определяется как среднее из двух опытов; точность определения — до 0,02.

Примечание. Обычно удельный вес портландцемента находится в пределах от 3,00 до 3,20.

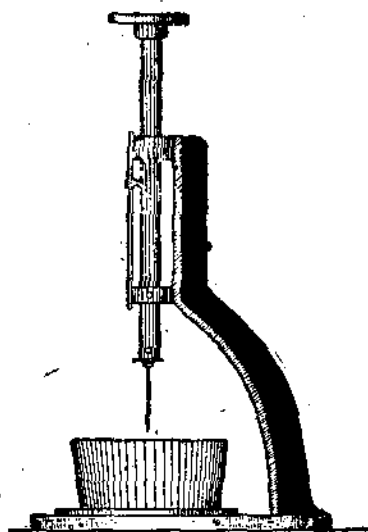
III. Определение нормальной густоты цементного теста

а) Цементным тестом называется смесь цемента с водой без примеси песка.

б) Определение нормальной густоты теста производится с помощью прибора Вика (черт. 2), который состоит из цилиндрического металлического стержня, свободно перемещающегося в вертикальном направлении в обойме станины. Для закрепления стержня на желаемой высоте служит зажимный винт. Стержень снабжен указателем для отсчета его перемещения

по шкале, разделенной на миллиметры и прикрепленной к станине. В нижнюю часть стержня вставляется металлический цилиндр (измеритель густоты Тетмайера); диаметр его должен быть проверен и иметь размер 1 см ($\pm 0,01$ см), а поверхность его должна быть гладкой и чистой. Вес стержня вместе с цилиндром должен быть 300 г.

в) Тесто накладывают в коническое вбонитовое или медное кольцо с верхним диаметром 7,5 см ($\pm 0,5$ см) в свету, нижним диаметром 6,5 см ($\pm 0,5$ см) также в свету и высотой 4 см ($\pm 0,5$ см).



Черт. 2.

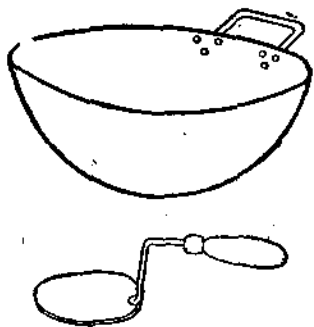
Под кольцо подкладывают стеклянную пластинку.

г) Перед производством опыта следует убедиться, сво-

бно ли опускается стержень прибора и хорошо ли работает стержень-винт, а также проверить нулевое показание прибора, приводя измеритель густоты в соприкосновение со стеклянной пластинкой. Перед наполнением тестом кольцо и стеклянную пластинку протирают тряпкой, слегка пропитанной машинным маслом. Подкладывать под кольцо бумагу не следует.

д) Затворение теста может быть произведено или вручную или в смешивающем аппарате.

При затворении вручную отвешивают 400 г цемента и помещают в сферическую металлическую чашку (диаметр чашки 25—30 см, высота 8—10 см), делают в цементе углубление и в него вливают отмеренное количество воды. Тотчас же после этого начинают сначала осторожно перемешивать, а затем энергично растирать тесто, пользуясь для этого лопаткой (черт. 3), округленной настолько, чтобы она хорошо подходила к стенкам чашки, при чем растирание должно проводиться попеременно во взаимно перпендикулярных направлениях. Продолжительность перемешивания цемента с водой — 5 минут, считая от момента приливания воды.



Черт. 3.

В качестве смешивающего аппарата может служить мешалка типа Вернера и Пфлейдерера емкостью 0,5 л или иная, ей подобная (черт. 4). В прибор всыпают цемент и вливают отмеренное количество воды, после чего тесто перемешивают в течение 5 минут со скоростью 60 оборотов в минуту.

е) По окончании затворения и по наполнении кольца тестом, производят несколько встряхиваний кольца, взяв в руки подложенную под кольцо стеклянную пластинку и слегка ударяя о край стола. После этого поверхность теста выравнивают, срезая избыток смоченным водою ножом в уровень с краями кольца.

ж) Приводят измеритель густоты в соприкосновение с поверхностью теста и закрепляют стержень винтом, после чего быстро освобождают закрепляющий винт и предоставляют показателю густоты свободно погружаться в тесто. Как только стержень перестанет опускаться, о чем судят, наблюдая по шкале за указателем, стержень вновь закрепляют винтом и производят отсчет, который и отмечают в рабочем журнале.



Черт. 4.

з) Густота считается нормальной, если измеритель густоты не доходит до дна на 5—7 делений.

Примечания. 1. Определение нормальной густоты теста производится с точностью до 0,5%.

2. Нормальная густота цементного теста обычно находится в пределах от 20 до 30%.

IV. Определение начала и конца схватывания портланд-цемента

а) По определении нормальной густоты цементного теста, цилиндрок, служивший для ее измерения, заменяют иглой Вика, с площадью поперечного сечения 1 мм² ($\pm 0,01$ мм²) (диаметр 1,13 мм ($\pm 0,005$ мм)), а на верхнюю тарелку стержня добавляют груз до 300 г. Кроме того, перед опытом проверяют нулевое показание на шкале, приводя иглу в соприкосновение со стеклянной пластинкой.

б) Перед опусканием в тесто иглу доводят до соприкосновения с поверхностью теста, закрепляют стержень винтом и, освободив затем винт, дают игле свободно погружаться в тесто. Только в начале опыта, пока тесто настолько жидко, что можно опасаться сильного удара иглы о стеклянную пластинку, допускается при погружении иглы слегка ее задерживать, чтобы она не погнулась. Как только тесто загустеет настолько, что опасность повреждения иглы будет исключена, игле дают свободно опускаться после освобождения винта, и, во всяком случае, момент начала схватывания должен быть определен при свободном опускании иглы.

в) Иглу погружают в тесто через каждые 5 минут до определения начала схватывания и через каждые 15 минут в последующее время, передвигая кольцо после каждого погружения, для того чтобы испытывать тесто, непронизанное ранее иглой. После каждого погружения иглу следует вытирать чистой тряпкой или фильтровальной бумагой. Воду, которая может выделиться во время опыта на поверхности теста или из под кольца, удалять не следует.

г) В рабочем журнале следует отмечать температуру помещения, в котором производится испытание.

д) За начало схватывания принимается время, протекающее от начала затворения (момента приливания воды) до того момента, когда игла не будет доходить до дна на 0,5 мм. За конец схватывания принимается время от начала затворения до того момента, когда игла будет опускаться в тесто не более, как на 1 мм.

V. Проба на равномерность измерения объема

а) Из теста нормальной густоты, для которого берут 800 г цемента, готовят 6 шариков, примерно диаметром в 4 см, которые скатывают на ладони; два шарика помещают на стеклянных пластинках, а из четырех прочих шариков готовят цементные лепешки, для чего эти шарики помещают на стеклянные пластинки, покрытые влажной пропускной бумагой. От постукивания стеклянных пластинок о твердую, но не жесткую поверхность шарики расплываются в лепешки диаметром примерно в 7 см и толщиной в середине примерно около 1 см; затем поверхность лепешек сглаживают мокрым ножом.

б) В таком виде 2 шарика и 4 лепешки во влажном пространстве (в ящике с воздухом, насыщенном парами воды) сохраняются 24 часа.

в) *Проба в воде.* Две лепешки кладут затем в воду комнатной температуры, где и хранят 27 суток.

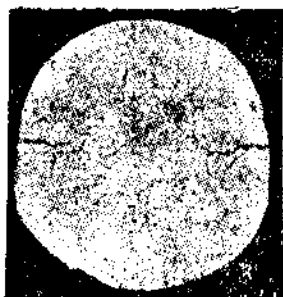
г) *Проба кипячением.* Два шарика и две лепешки кладут на 2 полки таганчика, который ставят в водяную баню

так, чтобы один шарик и одна лепешка находились в воде, а другой шарик и другая лепешка находились выше уровня воды в водяной бане. Затем воду в бане доводят до кипения и поддерживают таковое в течение 4 часов, после чего шарики и лепешки охлаждаются в водяной бане до следующего дня.

Примечание. Необходимо следить за тем, чтобы нижние шарик и лепешка были постоянно в кипящей воде, а верхние шарик и лепешка—в парах кипящей воды.

д) Цемент признается доброкачественным, если на шариках и на лепешках, вынутых из воды при пробе кипячением и через 27 дней—при пробе в воде, не обнаружится трещин, видимых невооруженным глазом и в лупу, а также каких-либо искривлений (см. черт. 5).

Примечание. Появляющиеся иногда у середины лепешек волосные трещины (трещины усыхания), не достигающие до краев лепешек, не являются признаком недоброкачественности цемента (см. черт. 6).



Черт. 5.



Черт. 6.

VI. Определение тонкости помола

а) Определение тонкости помола производится в приборе, который состоит из цилиндрической составной коробки, заключающей в себе 2 цилиндра с натянутыми ситами, доннышко и крышку; все составные части плотно входят одна в другую. Проволочная ткань, плотно зажатая в круглых металлических обоймах, диаметром 10 см и высотой 4 см, отстоит от нижнего края на 1 см.

б) Крупность сит устанавливается: для верхнего—900 отверстий на 1 см^2 , для нижнего—4900 отверстий на 1 см^2 . Диаметр проволоки: для верхнего—0,10 мм, для нижнего—0,05 мм, сторона квадратного отверстия в свету: верхнего—0,233 мм, нижнего—0,093 мм. Проволочная ткань должна быть бронзовой, латуинной или другого сплава, не изменяющегося в условиях лабораторной работы.

в) Навеску цемента в 100 г помещают в верхнее сито, вставленное в нижнее сито, которое, в свою очередь, должно быть вставлено в доннышко. Закрыв верхнее сито крышкой, производят отсеивание, встряхивая прибор в наклонном положении и постепенно поворачивая его на полный оборот вокруг вертикальной оси. В конце опыта контрольное просеивание производится на бумагу.

Просеивание считается законченным, когда в течение 1 минуты через сито проходит не более 0,1 г цемента.

г) Тонкость помола выражается в процентах путем взвешивания остатков цемента на ситах 900 и 4900 отверстий на 1 см^2 .

Примечание. Сита должны быть совершенно сухими и после опыта должны тщательно прочищаться.

VII. Определение нормальной густоты цементного раствора.

Цементным раствором называется смесь цемента, песка и воды. Цемент и песок берутся в пропорции 1:3 по весу.

а) *Нормальный песок.* 1. Нормальным песком, обязательным для всех нормальных испытаний портланд-цемента, признается природный чисто-кварцевый песок из Вольских карьеров, расположенных близ ст. Привольская, Рязано-Уральской жел. дороги. Содержание зерен посторонних минералов в нормальном песке допускается не более 5%.

2. В тех случаях, когда получение нормального Вольского песка представляется затруднительным, разрешается временно пользоваться нормальным песком иного происхождения, при чем переводный коэффициент устанавливается соглашением сторон.

3. Нормальный песок готовится просеиванием через сита в 64 и 144 отверстия на 1 см^2 . Нормальным песком считается песок, прошедший через сито с 64 отверстиями и оставшийся на сите с 144 отверстиями.

Сита для приготовления нормального песка и для проверки размера зерен его должны быть тканые, латунные; отверстия в ситах должны быть квадратной формы.

РАЗМЕРЫ СИТ ДЛЯ НОРМАЛЬНОГО ПЕСКА ¹⁾

Число отверстий на 1 см^2	Диаметр проволоки мм	Размер внутренней стороны квадр. отверстия мм
64	0,4	0,35
144	0,3	0,33

Случайные отклонения в диаметрах отдельных проволок и размерах стороны квадратов отдельных отверстий сит допускаются не более 10% от приведённых в таблице размеров.

5. Природный песок, идущий для приготовления нормального песка, должен быть до его просеивания через сито тщательно промыт и высушен.

6. За конец просеивания песка через данное сито считается, когда в течении 1 минуты через сито проходит не более 1% от веса всыпанного в сито песка.

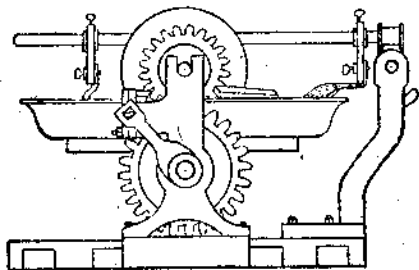
7. Нормальный песок не должен оставлять более 10% на сите с 64 отверстиями на 1 см^2 и пропускать не более 10% через сито со 144 отверстиями на 1 см^2 .

Примечание. Рассылаемый в лаборатории нормальный Вольский песок должен снабжаться аттестатом, в котором помещены все данные испытаний, согласно пп. 1 и 7, а также химический состав, объёмный и удельный вес песка данной партии.

¹⁾ Указанные размеры сохраняются впредь до установления ОСТ² металлических сит.

8. Приготовление нормального песка централизуется и ставится под контроль Саратовского отделения Государственного института строительных материалов.

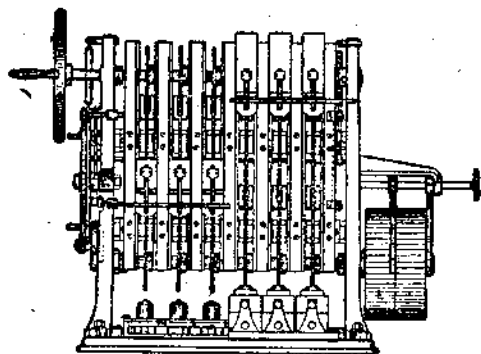
б) *Нормальная густота раствора*.—1. Насухо перемешивают вручную в сферической металлической чашке 200 г цемента и 600 г нормального песка в течение 1 минуты, затем содержимое чашки вручную же затворяется водой в продолжении 1 минуты. После этого раствор переносят в мешалку типа Штейнбрюк-Шмельцера (черт. 7); перемешивание заканчивается после 20 оборотов мешалки.



Черт. 7.

Вместо мешалки типа Штейнбрюк-Шмельцера может быть также применена мешалка Вернер-Пфлейдерера, емкостью 0,5 л или другие.

2. Полученный раствор при помощи совка или ложки переносится в кубическую форму (для нормального образца



Черт. 8.

при испытании на раздавливание) и подвергается машинному трамбованию на копровом приборе Лактина со свободно падающей бабой (ч. 8), Клебе и др.

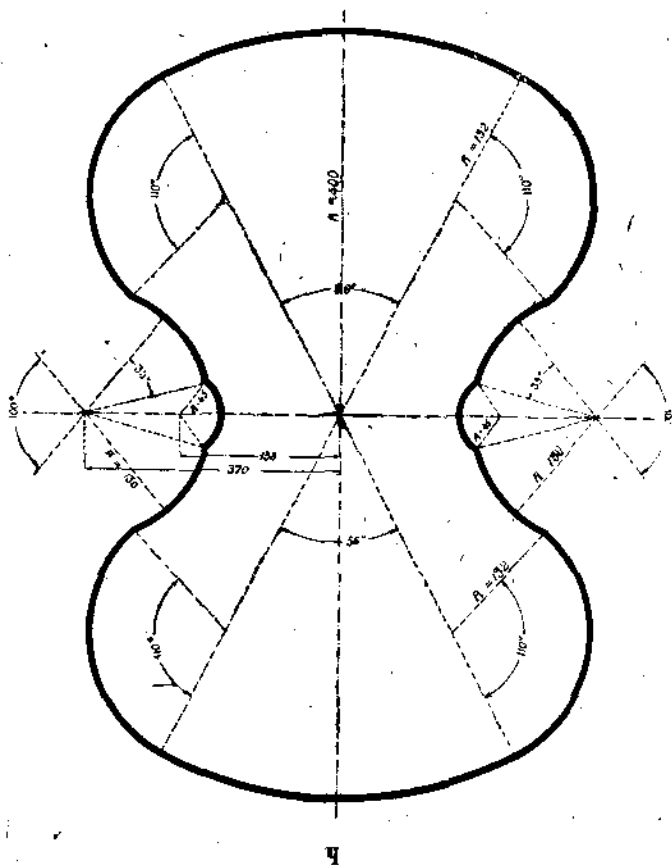
3. За нормальную густоту цементного раствора принимается то количество

воды (в процентах от веса сухой массы), при котором во время трамбования кубика вода появляется снизу формы лишь после того, как будет затрачено нормальное количество работы (1 кжм на 10 г сухой смеси), с отклонением ± 5 ударов.

При 800 г сухой смеси, весе бабы в 3 кг и высоте ее падения в 0,5 м—вода должна появиться не ранее, как после 48-го удара и не позже как после 58-го удара. В рабочем журнале следует отмечать, после скольких ударов появилась вода.

Примечание 1. Количество воды для затворения берется 8—10% от нормальной густоты цементного теста. Точность определения—0,25%.

Примечание 2. Временно, впредь до снабжения лабораторий механическими мешалками, допускается затворение вручную в металлической чашке; время перемешивания—5 минут.



VIII. Испытание на разрыв

а) *Формы для образцов.*—1. Размеры образца указаны на черт. 9 (стр. 237). Формы для теста должны быть разъемные, а для раствора—неразъемные; они делаются из нержавеющей металла достаточно прочного, чтобы не изменяли своих размеров и не раздвигались при уплотнении. Все формы должны быть пронумерованы.

2. Формы должны время от времени выверяться. Размер формы в шейке $2,22 \times 2,25$ см. Отклонения от этих размеров допускаются только такие, при которых колебания в величине площади расчетного сечения образца не превышают $\pm 2\%$. Если отклонения размеров формы от нормальных больше только что указанного предела, необходимо при расчете временного сопротивления вводить поправку, для чего на образце, вынутом из такой формы, отмечается тушью номер формы.

3. Формы для теста перед их заполнением протирают изнутри тряпкой, слегка пропитанной машинным маслом. Формы для раствора изнутри не смазываются. Немедленно после освобождения образцов из форм, последние должны быть вычищены.

б) *Изготовление и хранение образцов из цементного теста.*—1. Тесто готовится либо вручную, либо механическим перемешиванием. Одновременно затворяется тесто на 6 образцов, для чего берут 1000 г цемента и количество воды, отвечающее нормальной густоте теста. Продолжительность перемешивания—5 минут. При перемешивании в мешалке типа Вернер-Пфлейдерера емкостью в 5 л отвешивается 2000 г цемента, из которых готовится одновременно 12 образцов.

2. Формы перед их наполнением помещают на мраморную, стеклянную или металлическую доску, покрытую смоченной тонкой бумагой.

3. Тесто распределяют равными частями в 6 или 12 форм и вминают в них металлической овальной ложкой или ножом. После этого, с целью удалить из образца воздух,

формы встряхивают путем постукивания доски о край стола в течение двух минут со скоростью 100—120 встряхиваний в минуту: через каждые полминуты доска поворачивается на 90°. Через 5 минут после окончания встряхивания избыток теста срезают смоченным водой ножом.

Примечание. В случае непрекращения выделения пузырьков, встряхивание продолжается еще одна минута.

4. Первые сутки после изготовления образцы хранятся в формах, не снимаясь с доски, в шкафу или под колпаком, в которых в баядах находится в достаточном количестве вода. Ни в коем случае нельзя хранить образцы непосредственно на воздухе, не помещая их во влажное пространство.

5. Образцы освобождаются от форм через 24 (+2) часа после затворения. При вынимании образца из форм, последние нельзя постукивать о стол или о какой-либо предмет. В тех случаях когда при освобождении образцов будет замечено, что образцы дали усадку, это обстоятельство должно быть отмечено в рабочем журнале.

6. Вынутые из форм образцы нумеруют (тушью) и тотчас же укладывают в бассейны или ящики с водой для хранения в течение 3, 6, и 27 суток. Воду, в которой хранятся образцы, следует менять еженедельно, при чем температура воды должна быть по возможности от +15° до +16° С. Температуру воды следует ежедневно отмечать в том же рабочем журнале, в котором отмечается температура помещений, в коих производятся испытания.

в) Изготовление и хранение образцов из раствора 1:3.

1. Раствор затворяется одновременно на каждые 6 (или 12) образцов, для чего берут 300 г (или 600 г) цемента, по 900 г (или 1800 г) нормального песка, и воду в количестве, отвечающем нормальной густоте раствора. Самое затворение производится так же как и при изготовлении раствора для определения нормальной густоты (см. п. „б“, разд. VII).

2. Готовый раствор распределяют равными частями путем отвешивания по 200 г смеси на каждый образец в формы, стоящие на подставке копра, и уминают ложкой. Трамбование производится с расчетом работы в 1 км на 10 г сухой

смеси. Вес бабы должен быть 2 кг, высота ее падения—0,25 м. число ударов при этом равняется 40.

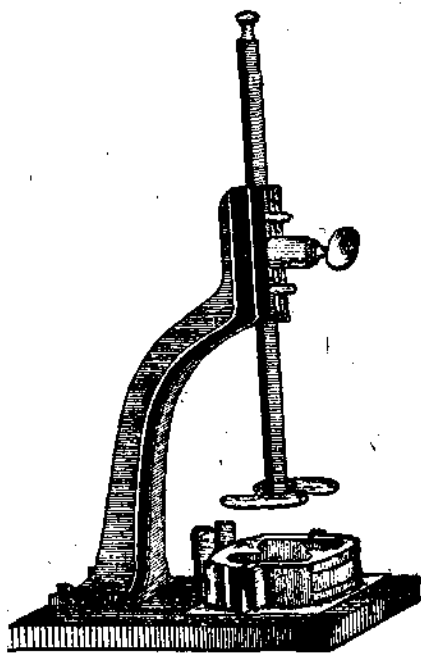
3. По окончании трамбования, формы с образцами помещают на стеклянные пластинки, протертые тряпкой, слегка пропитанной машинным маслом. Свободная поверхность образцов тщательно выравнивается ножом в уровень с верхними гранями форм. Затем образцы вынимают из форм с помощью прибора, изображенного на черт. 10 или ему подобного.

4. Нумерация образцов и хранение их во влажном пространстве и в воде производится в том же порядке как и для образцов из цементного теста (см. пп. 4—6 подр. „б“ разд. VIII).

г) Методы испытаний—1. Испытание на разрыв производится на рычажном приборе Михаэлиса с автоматическим нагружением дробью для образования разрывающего груза (черт. 11). Для нагрузки дробью служат приборы Бартелеми, Михаэлиса, Рихтера и др. Размер дробин должен быть от 2 до 2,5 мм. Скорость истечения дробин должна быть отрегулированной и составлять 100 г (± 10 г) в секунду.

2. Перед помещением образца в захваты прибора должны быть проверены опорные призмы, и прибор (без ведерка) должен быть установлен так, чтобы верхняя поверхность верхнего рычага совпадала с имеющейся на приборе чертой. Вес ведерка не должен превышать 25% от величины разрывающего груза; в противном случае прибор должен быть уравновешен вместе с ведерком.

3. Образец, вынутый из воды и обтертый сухой тряпкой, должен быть вставлен

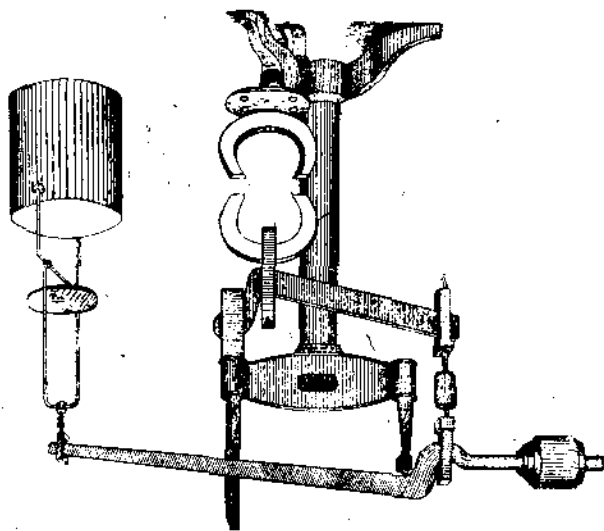


Черт. 10

в захваты так, чтобы плоские грани его совпадали с плоскими поверхностями верхнего и нижнего захватов. При вкладывании образца в прибор на верхний рычаг помещают, в качестве противовеса, рейтер и поднимают рычаг на такую высоту, чтобы в момент разрыва верхняя поверхность рычага находилась по возможности на высоте черты. Следует обращать внимание на то, чтобы между боковой поверхностью образца и захватами прибора, не было зерна песка, а также заусениц на образце.

4. Выравняв образец и подвесив ведро, снимают с верхнего рычага рейтер и нагружают ведро дробью. Когда вес дробы вместе с ведром достигнет разрушающего груза, то образец разорвется, а ведро, упав на педаль прибора с дробью, тем самым прекратит выпуск дробы.

5. Для определения разрывного усилия (временного сопротивления растяжению) ведро с находящейся в нем дробью



Черт. 11

взвешивают с точностью до 10 г. Вес, полученный в килограммах, должен быть умножен на 10, чтобы получить разрывное усилие на 1 см² площади наименьшего поперечного сечения образца по следующему расчету: отношение плеч рычагов: нижнего 1 : 5, верхнего 1 : 10, общее 1 : (5 × 10) = 1 : 50.

Площадь наименьшего поперечного сечения образца (средней части его) равна 5 см^2 ($2,25 \text{ см} \times 2,22 \text{ см} = 4,995 \text{ см}^2$)

На площадь в 5 см^2 действует сила в 50 раз большая нагрузки P на данное плечо верхнего рычага, на 1 см^2 разрывное усилие будет равно:

$$\frac{P \times 50}{5} = P \times 10.$$

Для получения среднего значения выбираются 4 наибольшие из 6 полученных результатов и вычисляется среднее арифметическое с точностью до $0,1 \text{ кг/см}^2$.

6. При испытании образцов из цементного теста в тех случаях, когда при вынимании образцов из форм была замечена усадка образцов, необходимо обмерять размеры шейки образцов, и в случае, если отклонение площади поперечного сечения от нормальной больше $\pm 2\%$, временное сопротивление растяжению рассчитывается на действительную площадь поперечного сечения шейки образца.

Если на образце стоит номер формы (см. п. 2 подразд. „а“ разд. VIII), то временное сопротивление рассчитывается на действительную площадь поперечного сечения шейки формы.

Примечание. Испытание на разрыв можно производить также и на машине Амслера-Лафона.

д) *Испытание на раздавливание* — 1. Испытанию на раздавливание подвергаются кубики из нормального раствора 1:3. Формы для кубиков должны иметь размеры $7,07 \times 7,07 \times 7,07 \text{ см}$, с площадью грани 50 см^2 ($7,07 \times 7,07 = 49,985 \text{ см}^2$). Отклонения от этих размеров допускаются только такие, при которых величина площади расчетного сечения не выходит из пределов $49—51 \text{ см}^2$. В противном случае на кубике отмечается тушью номер формы.

2. Кубики готовят так же, как и для определения нормальной густоты раствора (см. п. 1 подразд. „б“ разд. VII). Одновременно затворяется раствор на 2 кубика, для чего бе-

рут 400 г цемента, 1200 г нормального песка и количество воды, отвечающее нормальной густоте раствора, или 1200 г цемента и 3600 г нормального песка (при пользовании мешалкой типа Вернер-Пфлейднера на 6 кубиков). Для определения временного сопротивления сжатию должны быть приготовлены 9 кубиков, из которых 3 испытываются через 4 суток, 3 — через 7 суток и 3 — через 28 суток после их изготовления.

3. Нумерация кубиков и хранение их во влажном пространстве и в воде — те же, что и для образцов, предназначенных для испытания на разрыв (см. пп. 4—6 подразд. „б“ разд. VII).

4. По истечении 4, 7 и 28 суток от срока затворения раствора образцы должны быть вынуты из воды, обтерты сухой тряпкой и испытаны на рычажном или гидравлическом прессе, применяемом для нормальных испытаний каменных материалов и строительных растворов (напр., пресса Амслера-Лафона, Шенка, Мартенса и т. п.). Не реже одного раза в год пресс должен проверяться для учета действующих на кубик сжимающих сил.

5. Перед испытанием давящие поверхности пресса должны быть очищены от всякой грязи, песка и т. п. Кубик помещают на нижнюю давящую поверхность так, чтобы основанием служили грани, параллельные направлению трамбования.

6. Временное сопротивление сжатию определяется, как частное от деления величины разрушающего груза на площадь грани в квадратных сантиметрах, т. е. на 50. Для получения среднего значения берут среднее арифметическое из двух наибольших результатов.

7. Если на кубике стоит номер формы, то временное сопротивление рассчитывается на действительное поперечное сечение формы.

Б. В О Д А.

§ 9. Вода для лабораторных испытаний берется температурой 15—20° С. Может применяться водопроводная, реч

ная, незагрязненная колодезная и вообще всякая пригодная для питья вода.

Воды болотные, сточные и минерализованные, как правило применяться не должны.

§ 10. Вода, применяющаяся для бетонных работ, подвергается испытаниям для определения кислотности и наличия сернокислых солей.

§ 11. Проба на определение кислотности воды производится при помощи лакмусовой бумаги. Для этого в пробу воды погружают лакмусовую бумагу и выдерживают в ней бумагу 1 час. Изменение синей окраски лакмусовой бумаги в розовую указывает на присутствие в воде кислот и возможную непригодность испытуемой воды для затворения бетона, что должно быть проверено качественным анализом в ближайшей химической лаборатории.

§ 12. Присутствие в воде серной кислоты в виде сернокислых солей определяется следующим образом: исследуемая вода в количестве 500 куб. см. выпаривается в металлической чашке до объема в 50—100 куб. см. и подкисляется 5—10 куб. см. крепкой соляной кислоты. В горячий еще раствор, перелитый в стакан, прибавляется 10—15 куб. см. 10-проц. раствора хлористого бария. Выпадение обильного белого осадка (серно-кислого бария) указывает на недопустимое содержание в испытуемой воде серно-кислых соединений (сульфатов).

При взятии проб воды необходимо принять меры к тому, чтобы в нее не попали посторонние примеси.

Для этого во всяком случае, необходимо тщательно промывать посуду, в которую набирают пробу, и при отборе пробы из водопровода—предварительно, в течение 15 минут, пропускать из крана воду, застоявшуюся в трубах.

В. О Т О Щ А Т Е Л Ь.

Учет и хранение материалов.

§ 13. Партии материалов, прибывающие в адрес лаборатории для изучения с целью проектирования состава бетона, во время приемки регистрируются путем проставления масля-

ной краской на таре специального условного знака или временного № впрямь до получения сведения от отправителя.

§ 14. По получении необходимых сведений о цели присылки материала и количестве отдельных сортов устанавливается очередной лабораторный № для каждого материала в отдельности, с проставлением данного № на таре и занесением полученных сведений в материальную книгу; отдельные разновидности (сорта) одного и того же материала имеют общий №, но разные литеры.

§ 15. Форма материальной книги приводится в приложении к инструкции (форма № 1).

§ 16. Сведения о расходе материалов составляются ежемесячно, с занесением в отдельную ведомость (форма № 2) данных о количестве израсходованного по каждому сорту.

§ 17. Материал, оставшийся по окончании работ, по изучению его в объеме требований строительства, сохраняется в течение месяца на случай необходимости повторной работы с тем же материалом. По истечении месяца остаток может быть использован лабораторией для своих нужд.

§ 18. По истечении срока хранения оставшегося материала, лабораторный № на таре уничтожается; тара возвращается отправителю в случае, если имеется о том соответствующее указание; в противном случае тара может быть использована лабораторией для своих нужд.

19. Отощатель может храниться на открытом воздухе, но по возможности под навесом.

Общие положения об отошателе.

§ 20. Отощатель делится, в зависимости от крупности частиц, на камневидную, песок и пыль.

Под камневидной подразумевается фракция отошателя, остающаяся при просеивании на сите со штампованными круглыми отверстиями диаметром 7 мм в свету или на клетеном сите с квадратными отверстиями со стороной квадрата в свету 5 мм.

Пыль представляет частицы, проходящие через клетеное сито с квадратными отверстиями стороной в свету 0,233 мм. (900 отв. на кв. см.).

Песок представляет зерна промежуточной крупности (от 0,233 мм. до 7 мм.).

§ 21. Отощатель не должен содержать заметного на глаз количества разрушенных и выветрившихся частиц, а также посторонних загрязняющих примесей.

Примечание: Желательно, чтобы временное сопротивление камневидной на раздавливание было не менее полуторной величины временного сопротивления бетона той марки, на изготовление которого применяется камневидная.

Для ответственных железобетонных работ промывка камневидной обязательна; в остальных случаях промывка может не производиться, если пробные кубики, изготовленные из непромытого отощателя, покажут прочность не меньшую, чем из мытого.

Песок может не промываться при удовлетворительности реакции Абрамса (§§ 27, 28) и содержании суммы илистых и глинистых веществ не свыше 3% по весу (§ 31) 5% по объему (§ 30) и глины определенной методом разбухания (§ 32)—не свыше 2%.

Если же оценка песка по реакции Абрамса неудовлетворительна или содержание илистых и глинистых веществ превышает допустимое, то для суждения о необходимости промывки требуется изготовление контрольных кубиков; если прочность кубиков из раствора 1:3 нормальной густоты с испытуемым песком не многим менее, чем прочность кубиков того же состава с промытым чистым песком, то от промывки можно отказаться.

§ 22. Определение физических факторов отощателя (механический анализ) делается для отобранной пробы стандартного состояния (§ 23).

Необходимо произвести определение объемного веса и коэффициента пористости; ход анализа фиксируется по формам, приводимым в приложении (формы №№ 3 и 4).

§ 23. Песком стандартного состояния называется песок в воздушно-сухом и рыхлом состоянии.

§ 24. Отбор пробы отощателя ведется в следующем порядке: из 4—5 мест склада (или бочек) берется по 50—40 кг. песка или по 100—80 кг. камневидной.

Отобранное количество рассыпается на брезенте или досчатом полу в квадрат со стороной, равной 1 м.; проведением диагонали квадрат разбивается на 4 треугольника, из которых отбираются 2 накрест лежащие, а оставшийся материал смешивается, после чего описанный процесс деления квадрата производится еще два раза; остаток от третьего деления в количестве 25 кг. песка или 50 кг. камневидной используется для производства механического анализа, а остальное идет на изготовление кубиков и т. д.

§ 25. В случае, если по § 21 требуется промывка песка, то отбор пробы производится по предыдущему, вторично—уже с промытым отощателем; в этом случае количество песка, отбираемого со склада, доводится до 250—300 кг., для камневидной можно брать те же 400 кг.

§ 26. Наименьшее количество отощателя, присылаемого в лабораторию, не должно быть менее 25 кг. для песка и 50 кг. для камневидной.

§ 27. Загрязнение песка органическими примесями определяется реакцией Абрамса.

§ 28. Реакция Абрамса. Градуированный сосуд с притертой пробкой, емкостью 300 куб. см. наполняется при легком постукивании песком стандартного состояния до отметки 130, после чего приливается до отметки 200 раствор 3% едкого натра (каустическая сода), цилиндр закрывается и энергично встряхивается; если по окончании встряхивания уровень раствора понизится, то доливается недостающее до отметки 200 количество раствора так, чтобы снять песок со стенок; смесь снова встряхивается и оставляется на 24 часа.

По окраске раствора через сутки можно судить о качестве песка; для грубой оценки можно руководствоваться следующей табличкой:

	Окраска раствора	Оценка
а	от прозрачной до светло-желтой	вполне годен
б	от светложелтой до светлоричичевой	годен
в	от светлоричичевой до темной	негоден

Для возможности более объективного суждения о качествах песка рекомендуется изготовление эталона предельного цвета.

Эталон цвета изготавливается одновременно с заливанием испытуемого песка. Мензурка, емкостью 200 см³, наполняется до отметки 97¹/₂, раствором* едкого натра указанной выше крепости и дополняется (до отметки 100) 2% раствором танина в 10% алкоголя; по встряхивании мензурка оставляется на 24 часа, по истечении которых цвет получившегося раствора эталона сравнивается с испытуемым; реакция признается удовлетворительной, если испытуемый раствор не темнее эталона.

§ 29. Определение влажности песка.—Навеска 500 г. песка высушивается на противне или в сушильном шкафу и по охлаждении песка вновь взвешивается. Содержание влаги (в %/о) определяется по формуле:

$$w = \frac{500 - a}{500} \times 100\%,$$

где а—вес песка после высушивания.

§ 30. Содержание илистых и глинистых веществ по объему.—Навеска ¹/₂ кг. песка всыпается при легком постукивании в мензурку (емкостью 500 куб. см.) затем приливается вода до отметки 500, и смесь сильно взбалтывается. По истечении шести часов отмечаются отметки верха (h₂) и низа (h₁) осевшего илистого слоя; проц. содержания суммы илистых и глинистых веществ по объему определяется из выражения:

$$k_1 = \frac{h_2 - h_1}{h_2} \times 100\%.$$

§ 31. Содержание илистых и глинистых веществ по весу.—Навеска 1 кг. песка, высушенного при 100°, насыпается в сосуд емкостью около 5 л., затем приливается вода, и смесь тщательно размешивается; по осаждении песка (через 2—3 минуты по окончании размешивания), избыток жидкости, содержащий муть, осторожно сливается, и операция промыва повторяется до тех пор, пока сливаемая вода не будет прозрачной.

Промытый осадок высушивается при 100° и взвешивается; если вес остатка равен а гр., процент суммы илистых и глинистых веществ по весу определяется из формулы:

$$k_2 = \frac{1000 - a}{10} \%$$

§ 32. Определение содержания в песке глины (метод разбухания). В мензурку емкостью 25 см³ всыпается при легком постукивании песок до отметки 10, и приливается до отметки 23 вода, после чего добавляется до уровня 25 раствор хлористого кальция (CaCl₂) 5-проц. крепости. Смесь взбалтывается, производится точный отсчет (h₁) отметки поверхности песка, и смесь оставляется в покое на 3 часа. Если по истечении указанного срока новый отсчет уровня поверхности будет h₂, то содержание глины в испытуемом песке равно:

$$k_3 = \frac{50}{h_1} (h_2 - h_1) \%$$

§ 33. Объемный вес отощателя. а) Песок. Цилиндрический сосуд диаметром 11 см. и емкостью 1 л. наполняется с некоторым избытком песком стандартного состояния при помощи совка (с высоты 5 см. над верхним краем сосуда); избыток песка осторожно снимается при помощи металлической линейки, поставленной на ребро, или уголка 5×5×0,5 см.; тогда вес песка (нетто) в кг., выраженный с точностью до второго десятичного знака, представляет величину объемного веса.

При наполнении сосуда и снятии излишка песка необходимо наблюдать, чтобы сосуд не подвергался каким-либо сотрясениям, вызывающим уплотнение песка.

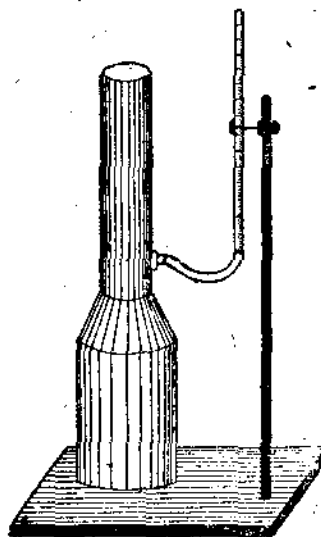
При определении об'емного веса влажного песка (полевого песка для определения коэффициента перехода) требуется предварительно разрыхлить песок, после чего определение веса ведется по предыдущему.

б) Камневидная. Способ определения сходен с предыдущим, но сосуд должен иметь емкость 10 л. и диаметр 24 см.; об'емный вес камневидной получается путем деления на 10 веса камневидной нетто, выраженного в кг. с точностью до второго десятичного знака.

Отощатель, послуживший для определения об'емного веса, не выбрасывается, но используется тотчас же для определения коэффициента пористости.

Определение об'емного веса производится не менее трех раз.

§ 34. Коэффициент пористости.



Черт. 12.

а) Песок. Применяется прибор, изображенный на чертеже 12 (сконструирован А. И. Яшвили): сосуд (жестяной или латунный) наполняется водой несколько выше трубки, соединяющей его с градуированной бюреткой; по производстве отсчета (h_1) в сосуд всыпается 1 л. песка, оставшегося

от определения объемного веса, и производится новый отсчет (h_2); коэффициент пористости выражается величиной:

$$\alpha_1 = 1 - \frac{k(h_2 - h_1)}{1000}$$

где $\frac{k}{1000}$ — постоянная прибора, при чем

$$k = \frac{\omega_2 + \omega_1}{\omega_1}$$

это отношение суммы площади верхней части сосуда и бюретки к площади сечения бюретки.

Указанный прибор изготавливается лабораторией ЗИС'а, каждый прибор снабжается свидетельством с указанием постоянной $\left(\frac{k}{1000}\right)$.

При отсутствии в лаборатории данного прибора пользуются мензурками емкостью 1000 и 500 куб. см. Первая мензурка наполняется водой до отметки 500, а вторая до 250; литр песка насыпается в первую мензурку до тех пор пока уровень воды не достигнет отметки 1000, после чего насыпание песка прекращается, а остаток высыпается в меньшую; если отметка воды в малой мензурке достигает (h), то коэффициент пористости равен:

$$\alpha_1 = 1 - \frac{250 + h}{1000} = \frac{750 - h}{1000}$$

в) Камневидная. После определения объемного веса в сосуд наливается вода до краев сосуда и взвешивается; если P_2 — вес сосуда с камневидной и водой в кг., а P_1 — вес сосуда с камневидной, то при принятых размерах сосуда коэффициент пористости:

$$\alpha_2 = \frac{P_2 - P_1}{10}$$

Определение коэффициента пористости производится не менее трех раз.

§-35 Если при составлении рабочего бетона состояние применяемого песка отличается от стандартного, что большей

частью имеет место, то при изготовлении бетона отмер песка по объему производится путем умножения объема стандартного состояния, данного в лабораторном рецепте, на переходный коэффициент по формуле:

$$V_1' = k V_1$$

где V_1' — рабочий объем песка, V_1 — стандартный объем и k — переходный коэффициент, учитывающий влажность песка и происходящее вследствие того изменение объема.

При весовом процентном содержании W влаги в рабочем песке значение поправочного коэффициента определяется формулой:

$$k = \frac{p_1}{p_2} + \frac{100}{100 - W}$$

где p_1 — объемный вес песка стандартного состояния

p_2 — объемный вес рабочего песка.

§ 36. В зависимости от принятого метода проектирования состава бетона может еще требоваться: 1) изучение остоителя путем пробного смешения песка и камневидной и 2) построение кривой удельной поверхности по кривой грануляции. Описание этих операций дано в отделе I книги.

Раздел III. Проектирование состава бетона.

§ 37. Цель проектирования бетона заключается в совмещении условия наибольшей экономичности (при данных качествах инертных) со специальными требованиями, предъявляемыми со стороны строительства, как в отношении удобства выполнения работ, так и в отношении требуемой прочности.

§ 38. Лицу, проектирующему состав бетона, должны быть заданы:

- а) — временное сопротивление бетона (марка) в зависимости от допускаемых напряжений и коэффициентов запаса;
- б) — консистенция бетонной массы, зависящая от конструкции всего сооружения или отдельной его части и принятого способа производства работ;
- в) — специальные условия работы сооружения (в отношении водонепроницаемости, морозоустойчивости и т. п.).

г) — Наибольший размер частиц камневидной, который принимается применительно к назначению бетона. Для обеспечения правильной и плотной укладки бетона в формы требуется чтобы наибольший размер зерен не превосходил $\frac{1}{4}$ самого узкого промежутка между стенками формы и был бы менее расстояния (в свету) между прутьями арматуры.

§ 39. Пригодность состава бетона для данного сооружения определяется прочностью его в соответствующем возрасте и степенью удовлетворения специальным требованиям в зависимости от назначения сооружения.

§ 40. — Прочность бетона зависит, главным образом, от прочности цементного камня и в меньшей степени — от качества и характера инертных.

§ 41 — Твердо установлено, что прочность цементного камня зависит от качества цемента и от весового соотношения количества цемента и воды в цементном тесте, образующем по отвердении цементный камень.

§ 42. — Отношение веса цемента к весу воды $\left(\frac{Z}{W}\right)$ в момент затворения бетона называется цементно-водным фактором.

Прочность цементного камня в зависимости от цементно-водного фактора выражается кривыми прочности.

§ 43. — Прочность бетона в действительности несколько отличается от прочности цементного камня, входящего в состав бетона. (§ 4), в зависимости от характера и свойств отопителя.

§ 44. — Консистенция бетонной массы зависит, главным образом, от соотношения между цементным тестом и отопителем (смесь камневидной и песка) и от цементно-водного фактора. Однако, даже при постоянном количестве цементного теста в кубическом метре бетона и данном цементно-водном факторе соотношение между песком и камневидной значительно влияет на консистенцию.

§ 45. Задачей проектирующего бетон является подобрать такой состав, чтобы при заданном цементно-водном факторе, определяющим прочность бетона, расход цемента был

наименьшим, а консистенция бетонной массы удовлетворяла удобству производства работ.

§ 46. Для проектирования бетона необходимо предварительно определить коэффициенты пористости песка и камневидной.

§ 47. а) Отношение объема цементного теста к объему пустот песка в бетоне называется коэффициентом заполнения пустот песка;

б) Отношение объема раствора к объему пустот камневидной в бетоне называется коэффициентом заполнения пустот камневидной;

в) Отношение объема цементного теста к объему пустот отощателя называется коэффициентом заполнения пустот отощателя;

г) Плотность бетона зависит непосредственно от коэффициента заполнения пустот отощателя. Этот коэффициент принимается не менее 1,05.

г) Наименьшее значение коэффициентов заполнения песка и камневидной принимается 1,2; значение этих коэффициентов должно быть тем больше чем более плотный бетон требуется получить.

§ 48. Проектирование состава бетона ведется по одному из четырех приведенных в тексте способов в зависимости от важности сооружения, количества бетонной кладки и имеющихся возможностей (персонал и оборудование).

§ 49. Проектирование состава бетона ведется на сухом отощателе и подобранный таким образом состав называется лабораторным в отличие от полевого состава применяемого на месте работ.

§ 50. При переходе от лабораторного состава к полемому определяются переходные коэффициенты по § 35, учитывающие влажность отощателя, в связи с чем должно быть уменьшено количество воды, идущей на затворение бетона.

§ 51. Для уплотнения бетона рекомендуется при проектировании учитывать возможность применения каменной пыли. Уплотнение пылью влечет за собой уменьшение пластичности теста при заданном cemento-водном факторе, но способствует

усложнению строения капилляров и повышает плотность бетона при данном расходе цемента. Кроме того каменная пыль повышает прочность цементного камня. Целесообразность добавки каменной пыли должна быть учтена путем изготовления пробных кубиков.

§ 52. Для испытания прочности запроектированных составов изготавливается не менее трех кубиков (в случае испытания в возрасте 28 дней) и не менее 6 (если требуется ускоренное испытание).

§ 53. Ускоренные испытания в возрасте 7 дней без последующей проверки прочности в 28-ми дневном возрасте не допускаются. Переход от 7-дневной прочности на сжатие к 28-дневной производится для каждого сорта цемента по своей формуле.

§ 54. В случае, если полевая лаборатория не располагает достаточно мощным прессом, необходимо изготавливать вместе с кубиками также бетонные балки (см. § 56); испытание балок производится на месте, а кубики отправляются на испытание в ближайшую районную или центральную лабораторию.

§ 55. Для нормального новороссийского портланд-цемента можно принимать ориентировочно соотношение между временным сопротивлением кубика на сжатие и балки — на растяжение (при изгибе) равным 8 при одном и том же составе (в возрасте 28 дней).

§ 56. Размеры контрольных кубиков принимаются $20 \times 20 \times 20$ см. В случае применения отощателя предельной пружности 40 мм.; для более крупной камневидной размер кубиков увеличивается до $30 \times 30 \times 30$ см. Размеры бетонных балок — $15 \times 15 \times 120$ см.

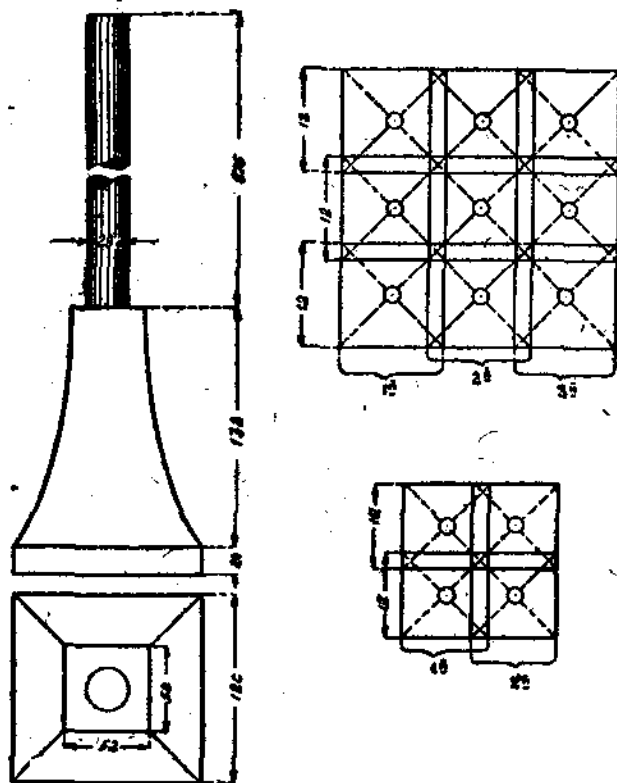
§ 57. По установлении состава, подходящего по консистенции и удовлетворяющего остальным требованиям качества, изготавливаются образцы (кубики и балки). Стандартный способ изготовления образцов, описанный ниже (§ 58) применяется как при лабораторной работе, так и при заготовке образцов на месте укладки из бетона, идущего в дело.

Разборные формы для образцов должны перед укладкой бетона проверяться в отношении правильности размеров и

геометрической формы (плоскости и прямые углы); формы могут быть как металлические, так и деревянные, с внутренними гребнями, обитыми металлическими листами.

Формы должны содержаться в чистоте; во избежание прилипания бетона к металлу, стенки форм перед укладкой бетона смазываются минеральным маслом, керосином или иным материалом, на содержащим кислот, щелочей или других вредных примесей.

§ 58. В зависимости от принятого метода укладки бетона в сооружении (консистенции бетонной массы) образцы изготавливаются трамбованные или штыкованные.



Черт. 13.

а) Изготвяне образцов при трамбовани.

Бетон укладывается в форму слоями по 10 см.; для трамбования применяется металлическая трамбовка весом 1,2 кг.

(черт. 13) в форме усеченной пирамиды с квадратным основанием (10 см. в ребре). Для образцов $20 \times 20 \times 20$ см. дается на каждый укладываемый слой по 16 ударов; порядок трамбования показан на схеме (черт. 13).

Число площадок трамбования—4; на каждую площадку дается по два удара; обход площадок ведется в определенном порядке, и каждый слой обходится дважды; общее число ударов на кубик—32; по окончании трамбования первого слоя, перед укладкой второго поверхность бетона слегка взрыхляется, чтобы обеспечить прочную связь слоев между собой.

Для образцов $30 \times 30 \times 30$ см. на каждый слой дается 36 ударов; порядок трамбования указан на схеме; число площадок на слой—9; на каждую площадку дается также по два удара, и каждый слой обходится два раза; при числе слоев—3 общее число ударов на весь кубик— $36 \times 3 = 108$.

Соединение отдельных слоев обеспечивается мерами, указанными выше.

При трамбовании балок высота слоя равна 7—8 см., число ударов на слой—40; обходится каждый слой один раз; на каждую площадку дается по два удара; число площадок на каждый слой—20.

Высота падения трамбовки—15 см. для всех образцов.

б) Изготовление образцов при штыковании.

Бетон укладывается слоями по 10 см.; для штыкования применяется металлический стержень длиной 50 см. и диаметром 15 мм. с округленным концом. По наброске первого слоя в форму, на нее устанавливается рамка с натянутой на ней металлической сеткой с квадратными отверстиями (30 мм. в свету); протыкание стержнем слоя бетона производится через каждую ячейку, при чем через ячейки, расположенные по контуру формы, протыкание производится по два раза, а через внутренние—по разу.

Стержень для штыкования снабжается передвижным упором, закрепляемым винтом на такой высоте, чтобы при штыковании упор препятствовал прониканию стержня внутрь нижележащего слоя, ранее проштыкованного.

По окончании трамбования (штыкования) излишек бетонной массы срезается плоской поверхностью отрезка уголка ($5 \times 5 \times 0,5$), и поверхность бетонной массы разравнивается и разглаживается в случае изготовления образцов из очень жесткого бетона, допускается подливка цементного раствора для затирки поверхности образца.

§ 59. Образцы освобождаются из форм через 24 часа по изготовлении, взвешиваются и хранятся первые 6 дней в воде комнатной температуры, а затем—во влажных опилках; температура помещения должна находиться в пределах 15—25°C.

§ 60. Каждый образец снабжается своим номером; в книгу сведений об образцах заносятся все необходимые данные по форме № 5.

Образцы, отправляемые на испытание в центральную или районную лабораторию, отсылаются в ящиках с мокрыми опилками не ранее 4 дней по изготовлении, и во всяком случае с таким расчетом, чтобы образцы прибыли к сроку на место испытания; одновременно с образцами или 2-3 днями ранее отсылаются также копии формы № 5.

§ 61. Испытание балок на изгиб производится полевой лабораторией при помощи простейших приспособлений. Испытание рекомендуется вести по § 73.

§ 62. Полевые лаборатории ведут особый «журнал полевого контроля» по форме № 6.

§ 63. В обязанности полевой лаборатории входит также отсылка сведений центральной или районной лаборатории о результатах испытаний балок на изгиб.

Раздел IV. Контроль дозировки и качества бетона.

§ 64. Контроль качества бетона распадается на следующие части; контроль качества составных элементов бетона (материалов) контроль дозировки (пропорций составных частей); контроль времени перемешивания и правильности приготовления бетонной массы; контроль транспортирования и укладки бетона; контроль прочности бетона (последующие испытания); контроль ухода за бетоном.

§ 65. Контроль составных частей бетона ведется полевой лабораторией согласно указаний II раздела настоящей Инструкции, а также нижеследующего:

а) контрольные определения коэффициентов пористости инертных материалов должны производиться при всяком резком изменении их, но во всяком случае должно быть сделано не менее одного определения на каждые 250 куб. м. отощателя.

б) перед употреблением в дело отощателя новой поставки должно быть произведено полное исследование его, а состав бетона должен быть проверен пробным замесом и в случае надобности соответственно изменен;

в) влажность отощателя должна контролироваться не менее одного раза в сутки, а также после резких перемен в состоянии погоды. Изменение состояния влажности должно быть учтено соответственным уменьшением или увеличением водной добавки;

г) переходный коэффициент от стандартного состояния отощателя к полевому устанавливается перед началом работ и в дальнейшем проверяется в зависимости от состояния погоды и иных внешних обстоятельств, могущих повлиять на изменение его; во всяком случае должно быть произведено не меньше одного определения на каждые 250 куб. м. мелкой или крупной добавки;

д) качество воды, если оно вызывает сомнения, должно проверяться простейшими анализами не реже одного раза в месяц, и во всяком случае после дождей, в периоды паводков, а также в засушливые время года.

§ 66. Контроль дозировки бетона производится лабораторией согласно нижеследующих указаний:

а) Отмеривание воды должно быть организовано таким образом, чтобы изменение водной добавки ни в каком случае не могло быть произведено без ведома лица, ответственного за качество бетона.

Бачки для воды, имеющиеся при бетономешалках, должны быть постоянно в полной исправности: объем их до начала работ должен быть точно измерен. Желательно применять автоматическое отмеривание воды.

Объем дозируемой воды должен быть каждый раз точно измерен до начала работ.

В случае невозможности применения автоматического отмеривания, наблюдение за отмериванием воды должно быть поручено ответственному лицу, неотлучно присутствующему на месте замеса;

б) Цемент должен дозироваться по весу. Для обеспечения этого необходимо иметь при каждой бетономешалке или группе их простые десятичные или автоматические весы.

Требования, предъявляемые в отношении контроля отмеривания воды, должны распространяться и на дозировку цемента.

При пользовании простыми весами должна быть выдана только одна гиря, соответствующая необходимому весу цемента, во избежание случайных ошибок.

в) Отощатель дозируется по объему. Для камневидной должны быть устроены ящики или тачки постоянного объема, а для песка—ящики или тачки с отметками различных объемов или несколько разных ящиков, так как объем песка меняется в зависимости от влажности.

г) Установленный лабораторией состав должен быть четким, крупным шрифтом написан на доске, находящейся рядом с бетономешалкой.

На этой доске должны быть указаны расход цемента по весу, а отощателя и воды—по объему, на один замес.

В случае изменения отощателя или его влажности, надлежит проверять расчет полевого состава бетона.

§ 67. Перемешивание бетона должно быть машинное. Ручное приготовление бетона допускается лишь в исключительных случаях (см. в этом параграфе разд. „д“).

а) Бетономешалки должны отвечать следующим требованиям: 1) давать бетон однородного состава, 2) обеспечивать удобство загрузки и перемешивания и 3) иметь автоматическое (или полуавтоматическое приспособление для дозировки воды).

б) Порядок загрузки ковша бетономешалки должен быть следующий: 1) щебень (гравий), 2) цемент, 3) песок. Допускается подвозка в общей вагонетке готовой порции всех ма-

териалов для одного замеса при условии точного отмеривания каждого из этих материалов у моста их нагрузки. Пуск воды в бетономешалку желательно производить одновременно с засыпкой сухих материалов.

в) Перемешивание производится до тех пор, пока не произойдет полное обволакивание камневидной добавки хорошо промешанным и имеющим однородную окраску раствором.

г)—Бетономешалки должны ежедневно, по окончании работ (или после каждой рабочей смены), очищаться. Для этого барабан приводят во вращение, наполнив его водой с гравием, и опорожняют после нескольких оборотов.

д)—Ручное приготовление бетона допускается только при весьма малых объемах работ (менее 300 куб. м.) и производится на плотных горизонтальных деревянных настилах (бойках), укрытых от дождя и ветра. Предварительно тщательно перемещивается цемент с песком (не менее 3 раз), затем прибавляется щебень, и постепенно во время дальнейшего перемешивания добавляется необходимое количество воды. Перемешивание производится до получения полной однородности массы. Боек должен после каждого замеса очищаться от грязи, сора и остатков бетона.

§ 68.—При контроле транспортирования бетона необходимо следить за тем, чтобы не получалось расслоения его, т. е. отделения цементного молока или щебня от всей массы бетона.

Наличие расслоения указывает на неправильности в дозировке бетона или в принятом методе транспортирования и требует проверки с целью устранения причин этого явления.

§ 69.—Порядок укладки бетона в формы должен во всем соответствовать указаниям „Общих норм на бетонные и железобетонные работы“. При контроле укладки бетона необходимо строго соблюдать следующие правила:

а)—Бетон, начавший схватываться, не может быть пущен в дело.

б)—Укладка свежих слоев бетона на слои, начавшие схватываться, не допускается; в этом случае необходимо выждать окончания процесса схватывания уже уложенных слоев и про-

должать бетонирование не ранее 2 часов после окончания схватывания.

Примечание: Схватывание бетона может считаться окончанным, когда при легком нажатии указательного пальца на поверхности бетона не остается никакого следа (углубления).

в)—Во всех случаях перерыва в бетонировании необходимо озаботиться об обеспечении надежной связи отдельных слоев. С этой целью поверхности бетона придается шероховатых вид насечкой при помощи грабель, путем устройства впадин и выступов и т. д.

Перед возобновлением кладки поверхность отвердевшего бетона очищается от грязи и пыли путем промывки водой и покрывается слоем раствора из состава применяемого бетона; при этом кладка бетона должна быть произведена до начала схватывания слоя раствора толщиной в 2—3 см.

г)—Приготовление бетона должно вестись с таким расчетом, чтобы укладка его производилась без излишних проволочек, немедленно после изготовления.

д)—Бетон, вышедший из бетоньерки, должен быть уложен во всяком случае не позднее 1 часа для нормального портланд-цемента, не позднее $1\frac{1}{2}$ часа—для цементов повышенных марок (и во всяком случае до начала схватывания цемента); замедление схватывания достигается перелопачиванием бетона, но при строжайшем наблюдении чтобы ни при каких условиях не была добавляема вода.

е) При выделении цементного молока—при укладке немедленно следует принять меры к исправлению дозировки и метода транспортирования во избежание получения малостойкого бетона.

Расслоившийся бетон должен быть удален.

ж) Необходимо следить за тем, чтобы бетон равномерно заполнял формы, проникая во все углы и облекая арматуру.

В исключительных случаях заполнения форм в зоне густой арматуры цементным раствором без крупной добавки необходимо следить за тем, чтобы цементно-водный фактор для раствора был не меньшим, чем установленный для бетона.

Необходимо на постройке вести запись дат начала и

окончания бетонирования отдельных частей по форме журнала полевого контроля.

§ 70. В особых условиях бетонирования (зимнее, под водой и т. п.) надлежит руководствоваться специальными инструкциями.

§ 71. После укладки бетона в формы необходимо принять меры к правильному „уходу“ за ним.

Под „уходом“ за бетоном понимают весь комплекс мероприятий, обеспечивающих надлежащую влажность и температуру твердеющего бетона. Поддерживание влажного режима необходимо в течение не менее 10 дней по окончании бетонирования, если максимальная температура в течение того же периода превышает 15°C . Поливка бетона в течение указанного срока должна производиться и при меньших температурах, если происходит усиленное высыхание бетона, вследствие недостаточной влажности воздуха или продолжительности ветров.

С этой целью в течение указанного времени в вертикальных конструкциях смачивается опалубка, а в горизонтальных на свободную поверхность бетона укладываются мешки или рогожи, с постоянной поливкой их, или насыпается песок слоем в 2—3 см., все время поддерживаемый во влажном состоянии. Те же самые меры принимаются и для борьбы с действием ветра.

В исключительно неблагоприятных случаях или при жаркой погоде уход за бетоном должен составлять особую заботу производителя работ и производиться в течение более длительного промежутка времени по его усмотрению, во избежание чрезмерно быстрого, а также неравномерного высыхания бетона по толщине его и появления усадочных трещин.

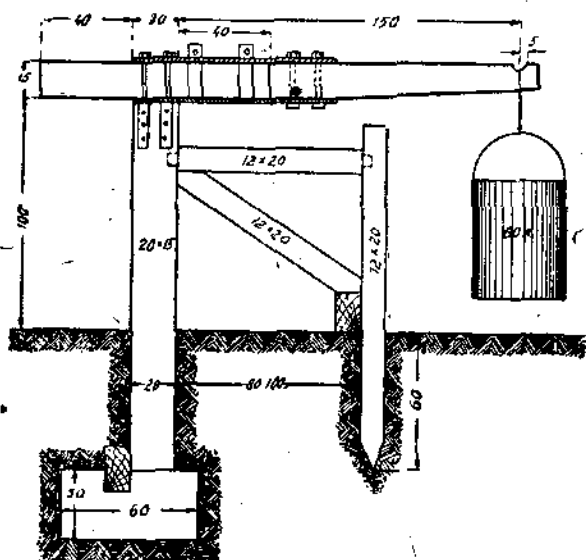
Особое внимание поддержанию бетона во влажном состоянии надлежит уделять при применении высокосортного цемента, развивающего при твердении еще значительную собственную теплоту.

Необходимо предохранять свежий бетон также от влияния сильных дождей (ливней), вымывающих цемент из бетона, а также грунтовых вод, если сооружение находится в земле.

При благоприятных условиях твердения (большие массы бетона во влажном воздухе и при умеренных температурах) этот срок ухода за бетоном может быть сокращен; однако, следует предохранять от высыхания сооружение не менее 5 дней, содержа его в состоянии достаточного увлажнения.

§ 72. Для последующего контроля прочности бетона на каждые 250 куб. м. изготовленного бетона затворяются три кубика или бетонных балки из бетона, идущего в дело, по правилам, указанным в разделе III (§ § 57—60) настоящей Инструкции.

§ 73. Испытание балок на изгиб производится при помощи простейшего приспособления, указанного на (черт. 14 и 15). Бетонная балка зажимается своей серединой между двумя металлическими пластинками, стягиваемыми винтами. Деревянный рычаг охватывает свес балки длиной 40 см. при по-



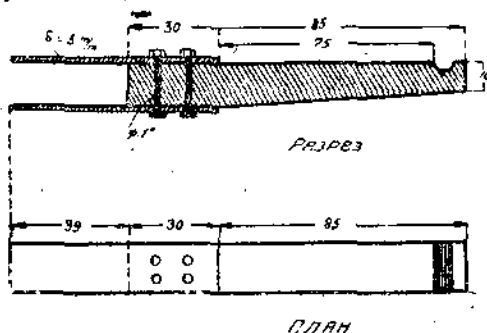
Черт. 14.

мощи пластин и хомутов. На конец рычага надевается ведро (емкостью не менее 60 л.), в которое насыпается смесь песка с гравием для доведения балки до разрушения. При принятых размерах балки, рычага и веса ведра с разрушающей

нагрузкой P , значение временного сопротивления балки на растяжение при изгибе определяется по формуле:

$$\sigma = 3,2 + \frac{4P}{15} \text{ кг/см}^2$$

После излома балка поворачивается, и испытание производится с другим концом.



Черт. 15.

При установке балки необходимо следить, чтобы изгиб происходил в плоскости, перпендикулярной направлению трамбования или штыкования.

§ 74. Для производства контроля качества бетона и составных частей его необходимо иметь на месте работ следующее оборудование:

1. Стандартный набор сит для просеивания агрегатов отверстиями в мм: квадратные отверстия со стороной квадрата в свету 0,233 и 0,47; круглые диаметром в свету 1, 3, 7, 10, 15, 25, 40, 60, 80.

2. Сито с 64 отверстиями на кв. см. 1

3. Барабан для просева цемента 1

4. Игла Вика с измерителем густоты теста Тетмайера и никелированным конусом или кольцом со стеклом 1

5. Форма $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см.	} для испытания цемента	9
6. " восьмерки		18
7. " балочки		2

8. Прибор Михаэлиса для испытания восьмерок 1
9. Металлическая или фарфоровая сферическая чашка для затворения цементного теста 1
10. Ручная лопаточка с округленными углами . . 1
11. Сушильный шкаф (термостат) (желательно) . . 1
12. Примус 1
13. Металлическая чашка (кастрюля) для пробы цементных лепешек кипячением 1
14. Подставка для одновременного кипячения 3 лепешек в кастрюле
15. Ванна металлическая размерами $50 \times 50 \times 10$ см.
16. Прибор для определения пористости с набором бюреток
17. Термометры: комнатный 2
18. " до 250°C 1
19. " максимальный и минимальный . 2
20. Мензурки емкостью в 1000 см^3 2
21. " " " 500 " 2
22. " " " 200 " 2
23. Мензурки емкостью 100 см^3 2
24. " " 50 " 2
25. " " 10 " 2
26. " " 300 " с притертой пробкой 2
27. Весы до 10 кг. с точностью до 1 г. с разновесами и гирями $1-500 \text{ г.}$ 1 шт.
28. Весы до 100 кг. с гирями $\left\{ \begin{array}{l} 1 \text{ кг.} - 1 \text{ шт.} \\ 2 \text{ " } - 2 \text{ " } \\ 5 \text{ " } - 2 \text{ " } \end{array} \right.$
29. Конус Абрамса из оцинкованного железа для определения консистенции 2 "
30. Столик для встряхивания при определении консистенции, с набором конусов 1 компл.
31. Совеk ручной 3 шт.
32. Лопаты ручные для приготовления бетона . 4 шт.
33. Формы размером $20 \times 20 \times 20$ 3 "
34. " " $30 \times 30 \times 30$ 3 "

35. Формы для балок размером $15 \times 15 \times 100$. . . 3 "
36. Брезент или парусина для перемешивания инертных (при отборе проб) 4 кв. м. 1 "
37. Мерные цилиндрические сосуды емк. 1 л. . . . 2 "
- " " " " 5 " . . . 1 "
- " " " " 10 " . . . 1 "
38. Стержень для штыкования 15 мм., длиной 50 см. 2 "
39. Трамбовки для изготовления кубиков и трамбования бетона 1 "
40. Отрезок углового железа $5 \times 5 \times 0,5$ см. длиной 50 см. 1 "
41. Деревянные линейки длиной 40 см. и 100 см. — 2 "
42. Стекланные пластинки 10×10 см. 12
43. Металлические листы (жест) разм. $50 \times 50 \times \times 0,1$ см. 2
44. Жестянные воронки 2
45. Тарелки металлические 2
46. Металлические ложки 2
47. Перочинный нож 1
48. Нож плоский 2
49. Ведра 4
50. Бидон для керосина 1
51. Щетка для чистки сит 1
52. Щетка металлическая для чистки оборудования 1
53. Едкий натр } По мере
- Раствор танина в аакоголе } надобности
- В а з е л и н }
- Лакмусовая бумага }
- Хлористый кальций } По мере надоб-
- Соляная кислота (крепкая) } ности
- Машинное масло, тряпки }
54. Противень для сушки песка 1 шт.
55. Логарифмическая линейка 1 "
56. Литература по бетону

**ЗАКАВКАЗСКИЙ
ИНСТИТУТ СООРУЖЕНИЙ**

Форма № 3.

Строительство

Лаборатория

Песок (лаб. № инт.)

Отправитель (Строит., лабор. и т. д.)

1. Илистость в объемных %/о (см. Инстр. по контр. бетона, § 30).

Измерение	см ³	I	II	Среднее
Отметка верха илистого слоя	h_2			
Отметка низа илистого слоя	h_1			
Илистость: $K_1 = \frac{h_2 - h_1}{h_2} 100\%$	$K_1 = \frac{\quad - \quad}{\quad} 100 = \quad \%$			

2. Илистость в весовых %/о (см. инстр. по контр. етона § 31).

Измерение	г	I	II	Среднее
Вес песка в : после отмучивания	a			
Илистость: $K_2 = \frac{1000 - a}{10}$				

3. Содержание глины в %/о (см. Инстр. по контр. бетона, § 32).

4. Реакция Абрамса (см. Инстр. по контр. бетона, § 28).

Песок залит раствором 193 г.

Окраска через 24 часа

Оценка песка

Оборот ф. № 3

5. Объемный вес (см. Инстр. по контр. бетона, § 33).

Измерение	I	II	III	Среднее
Вес песка в κ брутто				
" тары "				
" песка в κ нетто				

Объемный вес: $\Delta = \dots \text{кг/л.}$

6. Пористость.

а. применяется прибор Янвилля (см. Инстр. по контр. бетона, § 34)

Измерение	I	II	III	Среднее
Начальная отметка h_2				
Конечная " h_1				
Высота поднятия воды $h_2 - h_1$				
Постоянная прибора: $\frac{\kappa}{1000}$				
$n = 1 - \frac{\kappa}{1000} (h_2 - h_1)$				

n среднее =

б. применяются 2 мензурки: 1000 и 500 см^3 .

(См. Инстр. по контр. бетона, § 34).

Измерение	I	II	III	Среднее
Отметка воды в малой мензурке				
$n = \frac{750 - h}{1000} =$				

n ср. =

193 г.

Лаборант

Зав. лабораторией

**ЗАКАВКАЗСКИЙ
ИНСТИТУТ СООРУЖЕНИЙ**

Форма № 4.

№

Строительство
 лаборатория

Камневидная (лаб. № лит.)

Отправитель (строит., лабор. и т. д.)

Объемный вес и пористость (см. Инстр. по контр. бетона,
 §§ 33/34.

Из м е р е н и е		I	II	III	Среднее
Вес камнев. брутто . . . кг	<i>a</i>				
Вес тары кг	<i>b</i>				
Вес камнев. с водой бр. . кг	<i>c</i>				
Вес нетто кг	<i>d</i>				
Вес воды в объеме пустот кг	<i>e</i>				

Объемный вес $\Delta_2 = \frac{d}{10} =$

г/л

Пористость $\alpha_2 = \frac{e}{10} =$

Лаборант

Зав. лабораторией

Строительство

лаборатория

Лаборатория №							
Состав на куб. м.				Воздух			
Каменчатая	Песок	Портланд-цемент	Важущее вещество кг	Пыль			
				Известь			
Коэффициент				Фактор			
Консистенция				Расстояние			
Осадка в см							
Дата изготовления				Дата испытания			
Способ хранения							
Вес образца				На 2-й день			
Объемный вес кг/м				На 28-й день			
Теоретический объемный вес							
Коэффициент пористости							
Проектное				Проектное			
Показание прессы				Показание прессы			
Испытание				Испытание			
Среднее кг/см ²				Среднее кг/см ²			
Временное сопротивление				Временное сопротивление			

Строительство.

лаборатория

[illegible]

Строительство

Лаборатория

1. Марка цемента	10. Срок схватывания в час начало конец
2. Завод и объединение	11. Равномерность измен. объема испытание в воде горячая проба
3. № партии	12. Тонкость помола в % остаток на сите 900 отв/см ² прошло через сито 4900 отв/см ² " " 10000 отв/см ²
4. Вес партии в тоннах	18. Нормальная густота в % цементного теста раствора с норм. песком
5. Род упаковки	
6. Пункт отправления (ст. ж. д. или пристань)	
7. Пункт назначения (ст. ж. д. пор. или пристань)	
8. Способ доставки к месту работ	
9. Дата получения наряда на испытание цемента	

Зав. лабораторией

Лаборант

193 г.

[illegible]

Зависимость технических важных качеств бетона от физико-химических свойств цемента

Дипл.-инж. Донован Вернер и Стиг Гиртц-Гедстрем¹⁾

ПРЕДИСЛОВИЕ

Вернер и Гиртц-Гедстрем опубликовали ряд статей в истекшем 1931 г., но наибольший интерес для строителей представляет настоящая работа, предлагаемая вниманию читателя.

Авторы (при поддержке заинтересованных организаций) проводят большую исследовательскую работу по изучению бетона в лаборатории Академии Инженерных Наук в Стокгольме.

Располагая богатым оборудованием и являясь знатоками дела исследователи достигли прекрасных результатов.

Данная статья представляет особый интерес для лиц, знакомых с работами Закавказского Института Сооружений, так как воззрения авторов на природу бетона и значение его элементов (цементный камень, отошатель) совпадают с установками проводимыми в исследованиях ЗИС'а.

Для облегчения понимания статьи мы даем в начале пояснение понятий и терминов, которыми оперируют авторы.

После статьи помещены комментарии, освещающие и углубляющие точку зрения ЗИС'а.

Обычно, бетон состоит из отошателя (песок и камневидная), цемента и воды. Цемент затворенный водой образует цементное тесто, которое по отвердевании переходит в цементный камень. Цементное тесто служит смазкой отошателя и придает подвижность бетонной массе; цементный же камень является носителем прочности бетона.

При заданном отошателе, подвижность (удобообрабатываемость, податливость) бетонной массы зависит от количества

¹⁾ Die Abhängigkeit der technisch wichtigen Eigenschaften des Betons von den physikalisch-chemischen Eigenschaften des Zements. Von Dipl. Ing. Donovan Werner und Stig Cieritz—Hedström, Zement № 46 и 47 от 12 и 19 ноября 1931 года.

и качества цементного теста; прочность бетона и прочие техниче-ски-важные свойства его в большой степени зависят от качества цементного камня, следовательно от качества цементного теста. Итак, прочность бетона зависит от качества цементного теста, а консистенция как от качества, так и от количества его. Экономические и технические условия требуют доведения расхода цементного теста до возможного минимума.

При заданном цементе, качества системы цемент плюс вода (т. е. цементного теста и продукта твердения—цементного камня), можно рассматривать как функцию одной переменной, а именно отношения веса цемента к весу воды в тесте. Эту переменную величину, являющуюся аргументом изучаемой функциональной зависимости мы называем цементно-водным фактором.

Вернер и Гирц-Гедстрем указывают в своей работе, что не вся вода добавляемая к цементу при затворении «химически» увязывается цементом. Часть воды прочно увязывается продуктом твердения—твердой фазой, часть ее лишь частично увязывается, а остаток воды легко удаляемый является свободной водой.

Таким образом, авторы статьи подразделяют воду находящуюся в цементном камне на три категории.

1. Прочно увязанная вода.
2. Слабо увязанная вода.
3. Свободная вода.

Это подразделение, как указывают авторы, носит несколько условный характер и зависит от метода определения степени увязки воды.

С течением времени вода в цементном камне переходит из одного состояния в другое. Этот переход обуславливает изменение качества камня с возрастом. Большая заслуга авторов в том, что они наметили пути, а отчасти выяснили влияние каждой доли цементно-водного фактора на отдельные специальные свойства цементного камня, а следовательно и бетона.

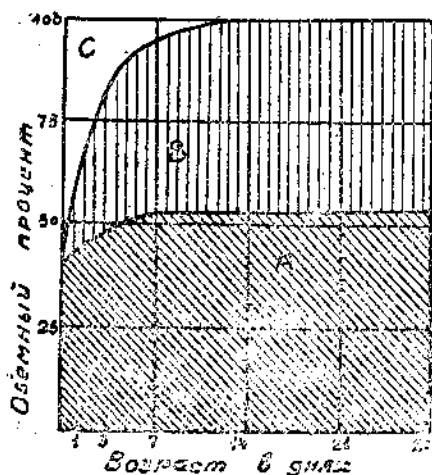
Вернемся к классификации данной авторами.

Свободная вода—это вода, которая может быть заморожена в изучаемой пробе цементного камня. Для определения

количества свободной воды образец подвергается замораживанию при температуре 0, — 6 и — 10°, а затем образец отогревается в калориметре, при чем объем замерзшей воды выясняется по количеству тепла, затраченного на оттаивание льда.

Слабо увязанная вода образует совместно со свободной водой ту подвижную часть воды цементного камня, которая может быть удалена при нагревании.

Слабо увязанная вода содержится в коллоидах и гелях цементного камня. Количество подвижной воды определяется как разность всей воды, находящейся в цементном камне и прочно увязанной ее части. Зная долю прочно увязанной воды, а также количество свободной воды мы находим слабо увязанную часть воды.



№ 1.

Распределение объемов разных фаз в образце изготовленном на портландцементе и 44% воды.

А—обозначает объем твердой фазы., В—слабоувязанная вода и С—свободная вода.

Прочно увязанная вода является водой гидратной и кристаллизационной, а также прочно абсорбированной поверхностной водой. Количество прочно увязанной воды определяется быстрым изотермическим нагреванием, а степень увязки измеряется по давлению отходящего пара.

Для иллюстрации явлений имеющих место при твердении цемента приводим чертеж из статьи и рц-Гедстрема „Вода в бетоне“ (Результаты измерений в отвердевшем цементе)¹.

* * *

¹) Das Wasser im Beton Messungsergebnisse Zement № 32 от 6 августа 1931 г.

Цемент, вступая в химическую реакцию с водой, образует новый продукт—отвердевший цемент (цементный камень), который обуславливает твердение бетона. Благодаря своим физико-химическим свойствам цементный камень связывает остальные составные части бетона, обуславливая его прочность, плотность и упругость. Перечисленные качества бетона, равно как, и другие технически важные особенности его, зависят от физико-химических свойств цемента. Зависимость эта еще мало изучена, несмотря на всю важность вопроса.

Качества бетона зависят в первую очередь от цементного камня. Это легко предположить, но, очевидно, не один этот фактор является решающим, так как наличие песка и камневидной вносит новые моменты. При попытке выявления этой зависимости необходимо начать с изучения качеств цементного камня и лишь затем возможно эффективно заняться изучением более сложной системы—бетона.

В дальнейшем мы изложим результаты опытов проведенных для выявления поставленной задачи.

Исследования проводились в лаборатории Стокгольмской Академии Инженерных Наук при содействии как Академии, так и Шведского акционерного общества „Slite Zement und Kalk“.

На основании полученных результатов изучения цементов явствует, что технически важные качества цементного камня, как то прочность на сжатие и растяжение, водопроницаемость, усадка и модуль упругости обуславливаются в основе своей количеством и качеством увязки воды в системе цемент—вода, в то время как другие свойства (к примеру—химические) имеют невидимому второстепенное значение.

I. Методы измерений

а) Увязка воды.

Об исследовании воды в бетоне изложено одним из авторов настоящей работы в двух более ранних статьях:¹⁾ В этом исследовании изложено о целесообразности подразделения воды в бетоне на три группы, а именно: прочно увязанная вода, слабо увязанная вода и, наконец, свободная вода.

¹⁾ Giertz—Hedström, Das Wasser im Beton. Zement № 29 и 32 за 1931 год.

Прочно увязанной водой мы называем воду, остающуюся в измельченной пробе при быстрой изотермической сушке. Эта вода складывается из гидратной, кристаллизационной и прочно абсорбированной поверхностной воды.

Слабо увязанной водой мы называем воду, отгоняемую при описанном способе сушки, но остающуюся в образце при вымораживании. Эта вода складывается из капиллярной и слабо абсорбированной поверхностной воды.

Под свободной водой мы подразумеваем воду, удаляемую замораживанием образца.

Далее, в упомянутых статьях описываются методы измерения, испытанные и использованные при определении увязанной воды (мы предполагаем знакомство читателя с этими статьями).

Помимо этого в статьях изложен способ нахождения по удельному весу „объема“ прочно увязанной воды, образующего совместно с объемом цемента (или прочих прочных частиц) объем твердой фазы. Объем свободной воды образует жидкую фазу, а объем слабо увязанной воды образует полуподвижную фазу.

Цифровой материал об увязке воды, приведенный в настоящей статье взят из упомянутого исследования, где и указывается степень точности подразделения воды на сорта.

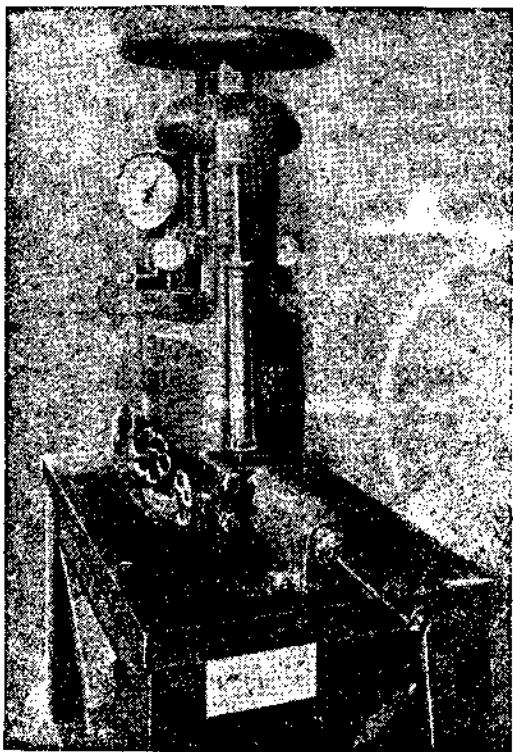
в) Прочность на сжатие.

Кубиковая прочность определялась на образцах площадью 50 см², изготовленных заполнением нормальных форм. Испытания проводились на гидравлическом прессе (Конструкция О с к а р - А. Рихтер) с контрольным манометром и трех поршнях с пределами измерений в 5000, 20000 и 60000 кг., что давало достаточную точность отсчета даже при испытании образцов незначительной прочности. Каждое значение прочности является средним из 6 параллельных определений. Хранение образцов (кубики и прочие образцы) проводилось в специально для этой цели изготовленном „влажном“ шкафу с постоянной температурой ($20 \pm 1^\circ$), воздух подводился циркуляционным вентилятором, прогоняясь над поверхностью пористых кирпичей,

заполненных водой, что обеспечивало влажность воздуха (степень влажности—98—99%).

с) Прочность на растяжение.

Прочность на растяжение определялась на образцах, изготовленных в нормальных формах. Разрыв проводился на обыч-



№ 2. Приспособление для измерений упругости.

ной разрывной машине (Фрилинг-Михаэлис'а). Среднее напряжение выводилось из 6 (или в виде исключения 8) испытаний.

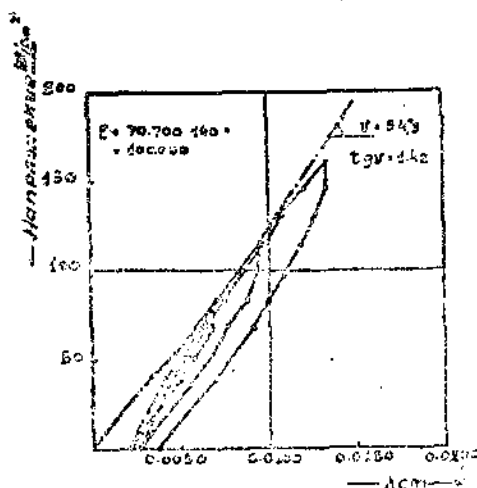
d) Модуль упругости.

Модуль упругости определялся на образцах идентичных с изготовленными, для испытания на сжатие, т. е. на кубиках площадью сечения в 50 см². Образцы загружались на гидравлическом

прессе, снабженном двумя индикаторными измерителями, позволявшими оценивать отсчеты до 1/1000 мм.

Индикаторные измерители устанавливались симметрично на каждой стороне кубика см. *черт.* № 2, стр. 284.

Наростание сжатия при росте нагрузки и выпрямление образца при разгрузке, изображено графически на *черт.* № 3.



№ 3. Типичная диаграмма деформаций при разных напряжениях, послужившая для подсчета модуля упругости.

де E_m — модуль упругости.

Для бетона показатель n этого равенства превышает единицу и величина его колеблется в зависимости от состава и качества материала бетона.

Во всех рассмотренных измерениях принято допущение $n=1$, что дает весьма незначительную ошибку, так как кривые напряжений весьма близко совпадают с прямой.

В этом случае модуль упругости определяется выражением

$$E_m = K \frac{\sigma}{\lambda} = K \cdot \text{tg } \varphi$$

• На этом *чертеже* нанесены деформации, вычисленные, как среднее из отсчетов обоих индикаторов. Каждый кубик подвергался не менее, чем трехкратной последующей нагрузке и разгрузке, при чем максимальная загрузка давалась скачками и доводилась до величины не превышающей половины разрушающей нагрузки.

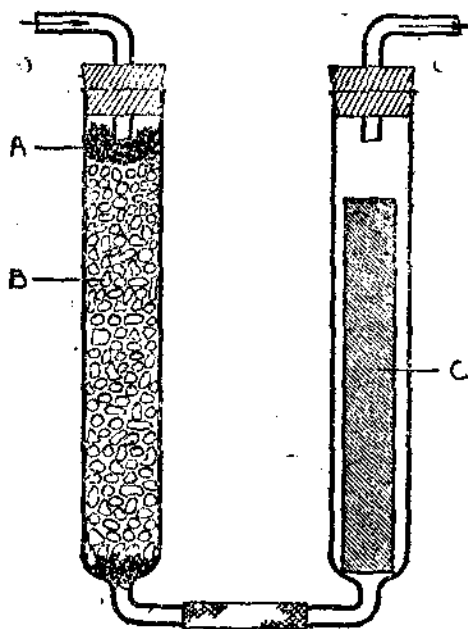
Как известно, между напряжением σ и деформацией λ образца длиной L существует связь выражаемая равенством;

$$\frac{\lambda}{L} = \frac{1}{E_m} \sigma^n$$

где V —угол образуемый прямой напряжений с осью абсцисс (удлинения λ).

Для определения модуля упругости проводились измерения на двух параллельных образцах, дававших две диаграммы упругости.

На график наносилось среднее значение этих двух измерений.



№ 4. Схематическое изображение приспособления для определения усадки.

A — вата.

B — средство для сушки воздушного потока (натронная известь).

C — пробка для которой определяется потеря воды и усадка.

е) Усадка.

При высыхании бетона наступает помимо потери воды и усадка. Для изучения этого явления применены следующие методы измерения.

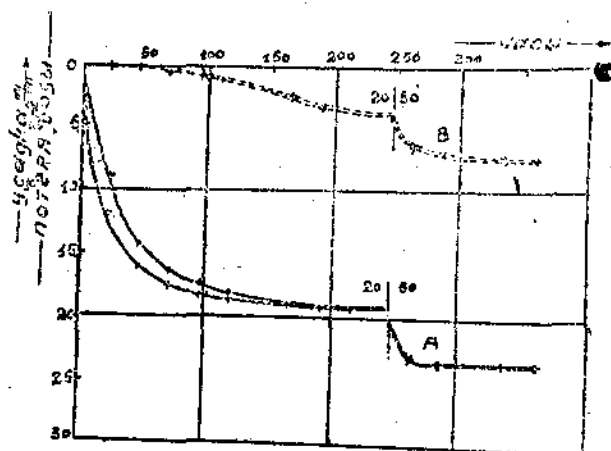
Воздушный насос прогоняет воздух из сушильной башни с натронной известью в медный змеевик воздушного термостата (температура $20^{\circ} \pm 1^{\circ}$), где воздух слегка подогретый в насосе приобретает постоянную температуру термостата. Из змеевика воздух поступает во вторую сушильную башню и оттуда в стеклянный сосуд, содержащий пробу.

На пробе определяется потеря в весе и замеряется величина усадки. Проба имеет форму палочки размером 150.20.20 мм. При сушке поток сухого воздуха обтекает пробу вдоль ее длины.

Опытная установка изображена на *чертеже № 4*, стр. 286.

Из стеклянного сосуда с пробой, воздух поступает в новую сушильную башню, где отдает влагу, поглощенную из образца и вновь высушенный поступает во второй сосуд, содержащий пробу и т. д.

Все сушильные башни и сосуды с пробами помещены в термостате. Регулировкой числа оборотов насоса можно установить любую скорость протекания воздуха.



№ 5. Типичная диаграмма потери воды (A) и усадка (B) образца затвердевшего цемента.

При опытах использовалась скорость потока воздуха в 5 лтр/мин., контролируемая специально включенной установкой манометров. Перед испытанием образец шлифуется шкурко

(песочной бумагой) для удаления возможно образовавшейся углекислой корки. Затем по определении веса образца (0,01 гр.) и измерения длины его (0,01 м.м.) он помещается в сушильную установку. Измерения повторяются через известные промежутки времени.

Таким образом определились потери в весе и величины усадки как функции времени сушки, что и изображено на *чертеже № 5*, стр. 287.

После достижения постоянного веса и длины, образец поступает в следующий термостат (температура $50^{\circ} \pm 1^{\circ}$), где измерения продолжают, однако без включения потока сухого воздуха. Температура в 50° была назначена как соответствующая температуре, под влиянием которой находится бетон в теплое время года при непосредственном прямом действии солнечных лучей.

По достижении постоянства веса и длины, измерения прекращаются.

Потери в весе и изменения длины, соответствующие этому постоянству, являются измерителями максимальной потери в весе и усадки, возникающими в образце при данных условиях. Все определения проводились на двух образцах и в расчет принималось среднее значение.

г) Водопроницаемость.

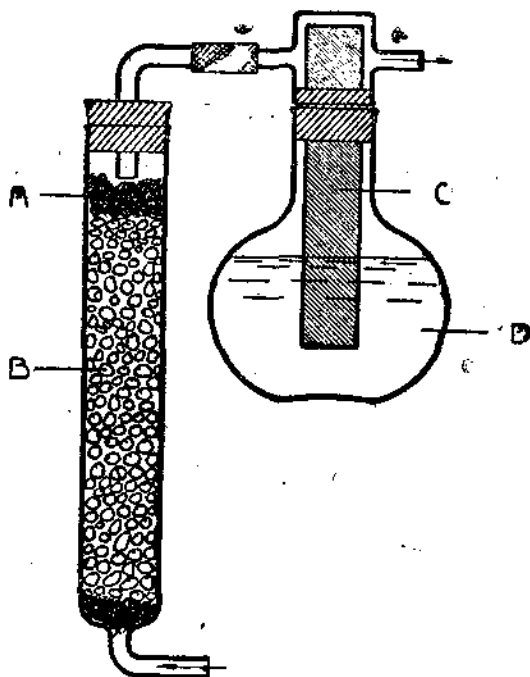
Затвердевший цементный камень не слишком молодой и содержащий не слишком много воды вполне плотен при испытании на одностороннее водяное давление небольшой интенсивности (напр. 2 кг/см^2). При испытании того же образца на большое одностороннее давление воды, а именно при давлении, вызванном капиллярным подсосыванием воды, проба показывает отсутствие водоупорности.

На практике такое капиллярное подсосывание воды имеет всегда место, когда бетон частично погружен в воду.

Высыхание части бетона, находящейся выше уровня воды вызывает капиллярное подсосывание из насыщенного водой бетона (находящегося в воде).

Для измерения этой разновидности водопроницаемости употреблялся следующий несколько измененный метод американского исследователя¹⁾.

Цилиндр затвердевшего цементного камня пропущен через резиновую пробку в стеклянную колбу, наполненную дистиллированной водой (см. *черт. № 6*).



№ 6. Схематическое изображение приспособления для определения водопроницаемости.

A — вата.

B — средство для сушки воздушного потока (натровая известь).

C — пробка для которой определяется водопроницаемость.

D — вода.

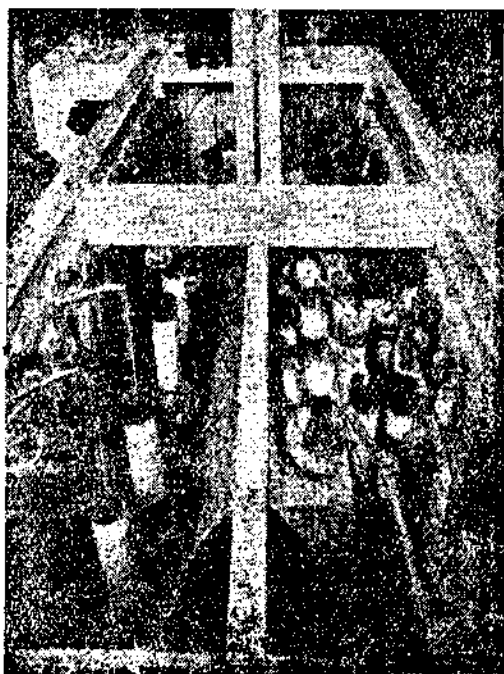
Цементный цилиндр погружен нижней частью в воду, а верхушка его, находящаяся на известной высоте, над рези-

¹⁾ Report of Research Laboratory at Chicago Nov 1, 1928, April 30¹ 1929.

новой пробкой покрыта плотно прилегающим стеклянным коляком, как это показано на *чертеже № 6* (см. стр. 89).

Поток сухого воздуха (такой же, как и при испытаниях на усадку) проходит через стеклянный коляк, омывая и высушивая верхний конец цементного цилиндрика.

Несколько подобных измерительных установок включаются последовательно с введением между каждой парой сушильной башни, удерживающей влагу воздуха. Вся установка целиком помещается в термостате, как и при измерении усадки (см. правую часть *фотогр. № 7*).

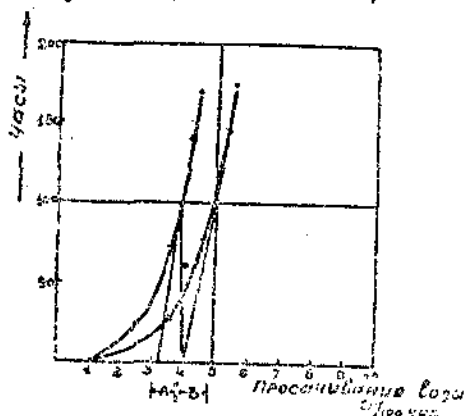


№ 7. Термостат. В правой половине проведены измерения усадки и водонепроницаемости.

И в этом случае скорость воздушного потока равна 5 литр/мин.

Пробные цилиндры перед испытанием шлифуются шкуркой и взвешиваются через определенные промежутки времени.

Выражая потерю в весе как функцию времени, получаем диаграмму, подобную изображенной на *черт. № 8*.



№ 8. Типичная диаграмма просачивания воды при определении водопроницаемости образца затвердевшего цемента.

Первоначально поток сухого воздуха вызывает высыхание верхней части пробного цилиндра, но постепенно испаряемая вода начинает возмещаться водой, капиллярно подсасываемой из запаса, содержащегося в стеклянной колбе. Пробный цилиндр работает по принципу фитиля.

Когда в цилиндре устанавливается равновесие, то диаграмма указывает на постоянный расход воды через сечение цилиндра, который и определяет пропускную способность цилиндра.

Определение проводилось параллельно на двух образцах и выявлялось среднее значение.

На *чертеже 8* изображены две кривые типового случая. Пропускная способность построена в виде расхода воды в течение 100 часов.

Во время работы выяснилась возможность уточнения первоначально принятых методов измерений кривых. В особенности это касается методов подсчета объемов, распределяемых по разным фазам.

С целью уточнения методов работы и дальнейшего изучения полученных результатов, начальные исследования продолжают и пополняются.

II. Зависимость между физико-химическими и техническими свойствами.

Физико-химические свойства выявленные на основании измерений уязки воды в фазах могут быть согласованы с технически важными качествами цементного камня, как то: прочность на сжатие и растяжение, упругость, усадка и водопроницаемость, которые определялись вышеизложенными методами.

а) Прочность на сжатие.

Авторы статьи в ранних своих работах указали при помощи математических выкладок и некоторых подтверждающих опытов, что кубиковая прочность может быть выражена достаточно точно как функция квадрата количества воды, вступившего в реакцию с цементом, при чем количество это определялось на основании известных допущений¹⁾.

Закономерность эта связанная с известной зависимостью прочности от квадрата водоцементного фактора была в дальнейшем доказана для специального случая Anderegg и Hubbel²⁾ хотя они и рассматривали это совпадение как случайное.

В настоящем исследовании мы нашли, что в зависимости кубиковой прочности, от количества уязанной воды это последнее должно выразиться как прирост твердой фазы. Кроме того, квадратичная зависимость прочности (на сжатие) от объемной части твердой фазы во всем объеме отвердевшего цемента действительна лишь при минимальном значении — примерно в 25%. В таблицах 1 — 5³⁾ и на чертеже № 9 дана сводка определений кубиковой прочности в зависимости от объемного процента твердой фазы. Сводка составлена для пяти разных цементов, 4 разных содержаний воды и 4 разных возрастов. Жирная кривая изображает квадратную зависимость, выражаемую формулой.

$$T = K_1 (f - 25)^2$$

где T — кубиковая прочность в кг/см²

f — объемный процент твердой фазы

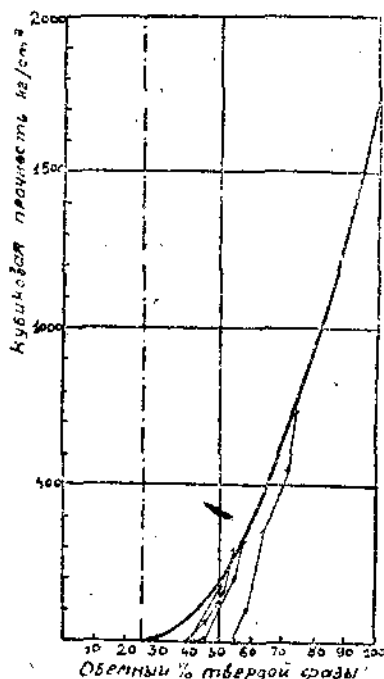
¹⁾ Вернер Д. и Гирц-Гедстрем С. „Грануляция цемента. Ее значение и измерение“ Zement 17, 1002, 1038, 1071 (1928 г.).

²⁾ Anderegg F. O. and Hubbel D. S. „The rate of hydration of cement clinker“. Proc. Am. Soc. Testing Materials 29/II 554 (1929).

³⁾ Таблицы см. после текста.

K_1 — постоянная равная 0,305.

Число 25, стоящее под знаком потенциала, есть среднее значение минимального объемного процента твердой фазы, получаемой, если цемент затворяется в большом количестве воды.



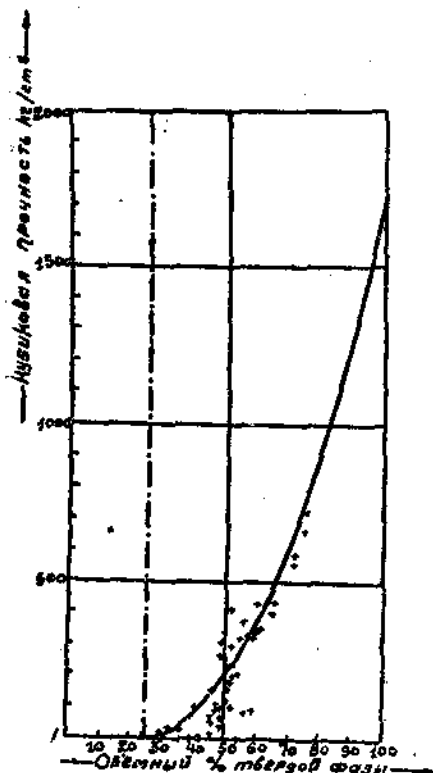
№ 9. Зависимость кубиковой прочности твердой фазы для разных сортов цемента, разного содержания воды в разном возрасте.

Если на затворение идет меньшее количество воды, то тогда вполне естественно повышается начальное значение объемного процента твердой фазы.

Это обстоятельство выявляется на чертеже № 10, где нанесены кривые для портланд-цемента. Жирная кривая увязывает точки, соответствующие пробам с одинаковым содержанием воды.

Нужно отметить, что, если серия начинается с объемного процента твердой фазы, превышающего 25, то она быстро приближается к квадратной кривой (жирная линия).

Чертеж № 10 см. на след. стр.



№ 10. Зависимость кубиковой прочности от объемного процента твердой фазы одного сорта портландцемента при разном содержании воды и в разном возрасте. Точки этой диаграммы взяты из предыдущей диаграммы № 9.

воздуха.

Экстерполяция показывает, что доведение объемного процента твердой фазы до полных 100 соответствует повышению прочности цементного камня до 1.700 кг/см^2 , или иными словами, цементный камень достиг бы в этом случае прочности, характерной для весьма плотных пород, как гранит и известняк.

Зная прочно увязанный объем воды в цементном камне,

Следовательно, наличие точек ниже квадратной кривой должно рассматриваться как нормальное явление.

Учитывая, что каждая точка диаграммы оправдана многочисленными опытными определениями (а именно содержание воды, удельный вес и кубиковая прочность) и что каждое определение связано с индивидуальными ошибками, нужно признать совпадение эксперимента с теоретической кривой вполне удовлетворительным.

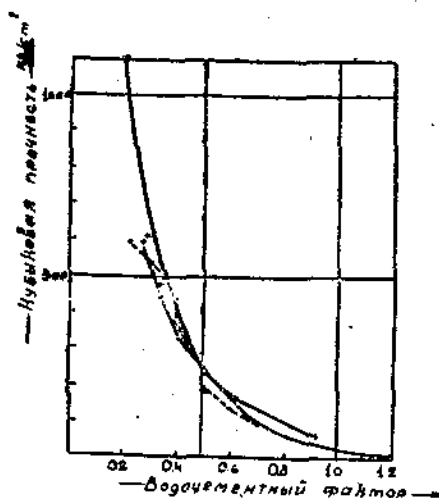
Некоторые детали должны быть особенно отмечены.

При высших достигнутых кубиковых прочностях в $\sim 900 \text{ кг/см}^2$ объемный процент твердой фазы равен лишь 80. Остальные 20% представляют объем свободной и слабо увязанной воды, а также объем

можно полученную формулу выразить как зависимость от водоцементного фактора.

На чертеже № 11 изображен результат такого пересчета для цемента, прочно вяжущего 15% воды в возрасте 28 дней.

Жирная кривая изображает теоретическую зависимость кубиковой прочности от водоцементного фактора, в то время как обе серии точек отображают характерные данные из труда Графа О „Строение раствора и бетона“ Берлин 1929, стр. 9 и 16.



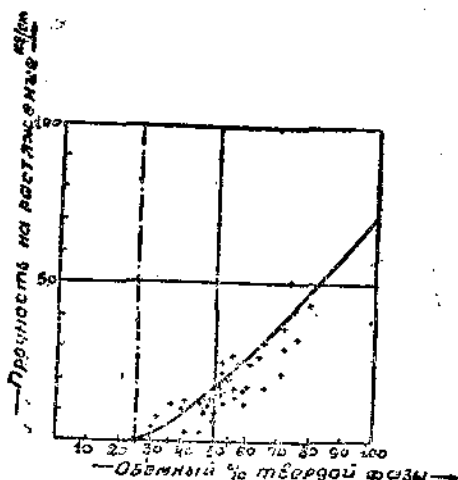
№ 11. Зависимость кубиковой прочности от водоцементного фактора.

Совпадение показывает, что давно и хорошо известный закон зависимости кубиковой прочности от водоцементного фактора является специальным случаем данного здесь общего закона зависимости прочности на сжатие от объемного процента твердой фазы. Наш закон не зависит ни от возраста, ни от качества цемента в то время, как зависимость прочности от водоцементного фактора действительна лишь при определенном возрасте и качестве цемента.

в) Прочность на растяжение.

Аналогично зависимости кубиковой прочности, прочность на растяжение стоит в связи с объемным процентом твердой фазы. Приблизительно по старым правилам принимается, что прочность на растяжение равна $\frac{1}{10}$ кубиковой прочности. Недостаток этой зависимости сказывается особо выукло при высокой кубиковой прочности, когда действительная прочность на растяжение растет весьма медленно, а порой даже падает.

Лучшую зависимость предложил Feret. Согласно Feret¹⁾ прочность на растяжение пропорциональна кубиковой прочности в степени $2/3$.



№ 12. Зависимость прочности на растяжение от объемного процента твердой фазы.

В таблицах 1—5 (см. после текста) и чертеже № 12 сопоставлены прочность на растяжение и объемный процент твердой фазы. Жирная кривая изображает зависимость.

$$D = K_2 (f - 25)^{2/3}$$

где

D — прочность на растяжение в кг/см^2 .

K_2 — постоянная равная 0,224.

Формула составлена на основании зависимости прочности на растяжение от прочности на сжатие — Feret и выведенного нами квадратного закона кубиковой прочности.

Так как ошибки при определении прочности на растяжение процентуально значительно превосходят ошибки при опре-

¹⁾ Feret R. „New comparison between tensile, flexural and compressive strengths“ Rev. matériaux construction trav publics 1930, 1, 52, 83, 127. Ref. Chem. Abstracts (U. S. A. 24, 3874 (1930)).

делении кубиковой прочности, то и отклонения от теоретической кривой достигают большего значения.

Экстерполяция указывает, что максимальная прочность на растяжение при абсолютной плотности не должна превысить приблизительно 70 кг./см.², что и должно рассматриваться как весьма высокая величина.

с) Модуль упругости.

Описываемые исследования показали, что, повидимому, модуль упругости находится в зависимости от прочности на сжатие и растяжение, могущей быть выраженной равенством

$$E_m = K \cdot \sqrt{T \cdot D}$$

где K — постоянный коэффициент равный 970

T — Кубиковая прочность,

D — прочность на растяжение

Верить в точность равенства не приходится, так как модуль упругости определяется при напряжениях не выходящих за пределы упругости, в то время как прочность на сжатие и растяжение определяется при разрушении, т. е. при напряжениях, лежащих за пределами упругости. Зависимость должна оцениваться как эмпирическая.

Хорошее совпадение можно объяснить отсутствием в бетоне явно выраженного предела пропорциональности.

В таблице 6 дан числовой материал измерений, подтверждающий приведенную формулу.

На основании этой формулы и уравнения зависимости прочности на сжатие и растяжение от процентного объема твердой фазы, имеем следующее уравнение, выражающее связь модуля упругости и процентного объема твердой фазы:

$$E_m = K_1 (f - 25)^{5/3}$$

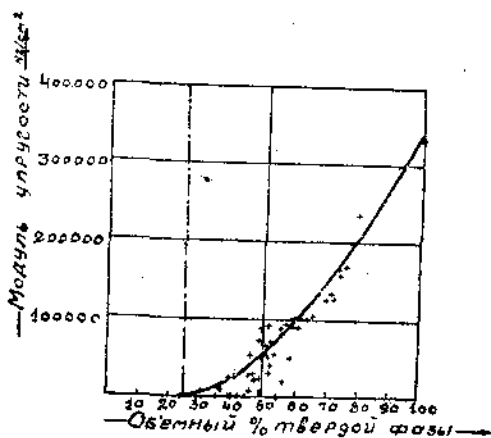
где K_1 — постоянная равная 254.

Величины модуля упругости и объемного процента твердой фазы даны в таблицах 1 — 5 и показаны на *чертеже № 13* (см. стр. 298) где жирным нанесена кривая подсчитанная по вышеприведенной формуле¹⁾

¹⁾ Опытные зависимости прочности на сжатие и растяжение и модуля упругости от объемного процента твердой фазы выражаются равенствами.

$$T = K_2 (f - 25)^{5/3} \quad E_m = K_1 (f - 25)^{5/3} \quad D = K_3 (f - 25)^{4/3}$$

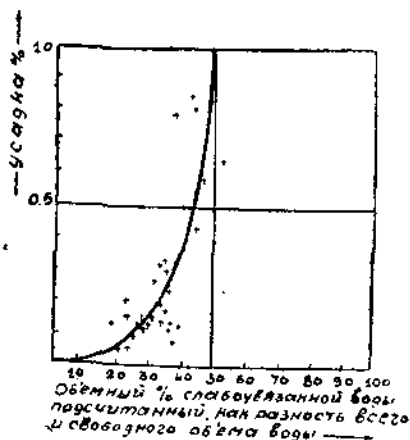
к которым присоединяется зависимость $E_m = K \cdot \sqrt{T \cdot D}$.



№ 13. Зависимость модуля упругости от объемного процента твердой фазы

d) Усадка.

При высыхании бетонного образца удаляется первоначально свободная вода, что не вызывает усадки; затем удаляется слабоувязанная вода и процесс этот сопровождается усадкой.



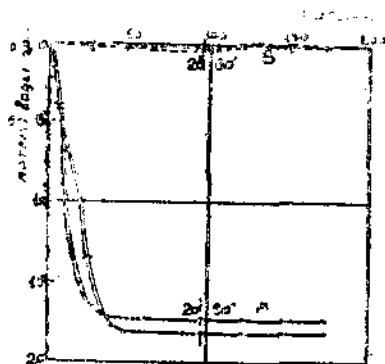
№ 14. Зависимость усадки от объемного процента слабо увязанной воды подсчитанного как разность всего и свободного объема воды

Это явление и следовало ожидать так как бетон в большей своей части состоит из коллоидов и коллоидоподобных веществ.

Характерной особенностью является уменьшение объема при потере воды (смазживание). Поэтому содержание слабо увязанной воды в бетоне, т. е. воды увязанной в коллоидах или гелях определяет усадочные явления.

В таблицах 1 — 5 и *чертеже* № 14 даны величины усадки при 21° как функция объемного процента слабо увязанной воды. Процент слабо увязанной воды подсчитан, как разность суммарного объема и свободной воды (так как свободная вода не вызывает усадки). Кривая не является функцией, подсчитанной по формуле, а отображает лишь характер явления. Высокое содержание свободно увязанной воды обуславливает согласно диаграмме значительную усадку. Обратно, вещества с малым содержанием слабо увязанной воды (или не содержащие такую воду) свободны от усадочных явлений.

Особый интерес представляет это явление в штукатурном гипсе. Измерения связанной воды показали, что вода в гипсе содержится почти исключительно в свободном или прочно увязанном виде при почти полном отсутствии слабо увязанной формы. Это явление может быть объяснено кристаллическим строением штукатурного гипса, не содержащего ни коллоидных веществ ни гелей.



Ж 15. Потеря воды (А) и усадка (В) образцов затвердевшего штукатурного гипса

Следовательно, это вещество почти совершенно свободно от усадки. На *чертеже* 15 показаны кривые замеров усадки гипса. Эти кривые должно сравнить с кривыми, изображенными на *чертеже* 5 см. стр. 287) где показаны усадочные явления в обычном цементе.

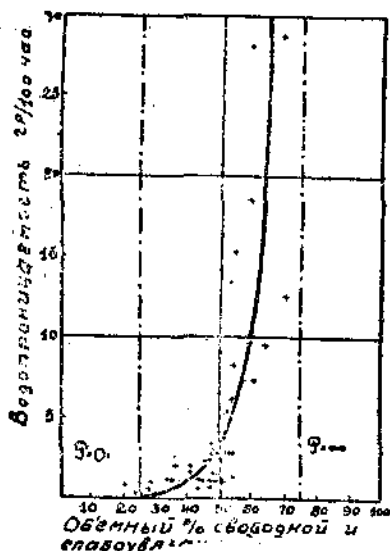
е) Водопроницаемость

Когда в бетоне происходит капиллярное подсосывание воды, то нужно рассчитывать,

как выше было указано, что явление это происходит при высоком давлении.

Следует ожидать, что в материале происходит смещение как свободной воды, так и слабо увязанной. В этом случае водопроницаемость должна зависеть от объема занимаемого водой свободной и слабо увязанной. Это обстоятельство и было нами выявлено.

В таблицах 1—5 и чертеже № 16 изображена зависимость водопроницаемости от суммы объемов свободной и слабоувязанной воды. Кривая показывает характер функции, но не отображает какого либо теоретического подсчета.



№ 16. Зависимость водопроницаемости от суммы объемных процентов свободной и слабоувязанной воды.

Из графика следует, что цементный камень становится явно водопроницаемым лишь при некотором объемном проценте свободной и слабо увязанной воды при чем процент этот приблизительно равен 25.

Вероятно, что тело, заключающее воду, в случае низкого процента (менее 25) не образует сплошных ходов, что и затрудняет просачивание воды в ощутимом количестве.

С другой стороны водопроницаемость стремится к безконечности, если объемный процент свободной и слабо увязанной воды достигает примерно 75, т. е. тогда, когда

твердая фаза становится меньше 25%. В этом случае масса близка к потере связи (количество воды столь велико, что зерна твердой фазы теряют контакт между собой).

Приведенные нами соображения являются, конечно, только схемой.

Если бетон подвержен низкому давлению, то можно предположить, что в движение приходит только свободная вода

(без слабо увязанной). В этом случае водопроницаемость должна зависеть только от объема свободной воды.

Однако, измерения, при столь низком давлении не были проведены. В общем содержание свободной воды в испытанных образцах было столь незначительно, что нельзя было ожидать ощутимой водопроницаемости при столь малых давлениях.

На основании вышеизложенного вытекает, что возможно установить эмпирическую зависимость между главными техническими качествами цемента и различными видами увязки воды.

Это обстоятельство указывает, что свойства цемента зависят в первую очередь от структуры материала.

Прочие особенности цемента как химический так и минералогический состав и т. п. имеют лишь второстепенное значение.

В таком гетерогенном веществе как цементный камень это явление может быть признано вполне естественным.

При переносе полученных результатов на бетон нужно иметь в виду, что физико-химические свойства системы цемент и вода как в чистом цементном камне, так и в цементном камне, отвердевшем в бетоне по всей вероятности останутся без изменения.

Что же касается технических свойств песка и камневидной, то влияние их вполне естественно не может быть прямо перенесено на зависимости найденные для цементного камня.

Цемент, хотя содержание его в бетоне весьма мало, является решающим фактором, определяющим применимость бетона. Поэтому закономерности, влияющие на качество цементного камня должны оказывать большое влияние и на бетон.

Авторы предполагают осветить вопрос путем постановки дальнейших опытов.

Полученные результаты опытов дают указания для работы по повышению эффективности цемента в деле путем дифференциации его качеств. Взгляды авторов изложенные в ранней статье¹⁾ и указания на необходимость выработки хотя бы цементов для подводной и наводной кладки нашли свое подтверждение.

Резюме:

1. Изучение цементного камня проведено как первый шаг исследования технических и физико-химических свойств бетона.

¹⁾ Гирц-Гедстрем С и Вернер Д „Дифференциация качеств цемента“ Zement № 20, стр. 213 за 1931 год.

2. Важнейшими физико-химическими качествами цемента признан характер увязки воды.

При исследовании использованы сведения, опубликованные в ранее изданных статьях.

3. Прочности на сжатие и растяжение образцов цементного камня с известной увязкой воды определялись обычным способом.

4. Модуль упругости, усадка и водопроницаемость определялись особыми методами;

5. Опыты дали возможность выяснить эмпирические зависимости между всеми исследованными техническими свойствами цементного камня и разными степенями увязки воды.

На эти зависимости повидимому не влияют такие качества как химический состав, возраст и содержание воды образца.

Изучены следующие зависимости:

- a) Кубиковая прочность и объемный процент твердой фазы.
- b) Прочность на растяжение и объемн. проц. твердой фазы.
- c) Модуль упругости и объемный процент твердой фазы.
- d) Усадка и объемный процент слабо увязанной воды, подсчитанный как разность общего объема и объема свободной воды.
- f) Водопроницаемость и сумма объемных процентов свободной и слабо увязанной воды.

6. Зависимости 5 а—с выражены математическими формулами с подсчитанными константами.

7. Хорошо известная связь кубиковой прочности и водоцементного фактора является частным случаем установленной данным исследованием зависимости прочности на сжатие от объемного процента твердой фазы.

8. Найдена эмпирическая зависимость модуля упругости от прочности на сжатие и растяжение.

Эта зависимость облечена на в математическую формулу.

9. Совпадение найденных и подсчитанных величин в данных зависимостях должно быть признано вполне удовлетворительным, при учете ошибок измерений.

Желательно уточнение методов и обогащение опытным материалом.

Лаборатория Академии Инженерных Наук.

Стокгольм. Январь 1931 г.

Примечание 1.

Абзацы—2-ой на стр. 282 и 8 и на стр. 301 выявляют взгляд авторов на зависимость качества бетона от свойств цементного камня. Авторы верно указывают на необходимость предварительного изучения системы цемент плюс вода с тем, чтобы облегчить переход к бетону.

Фере и Граф начинали изучение вопроса с промежуточной стадии—раствора.

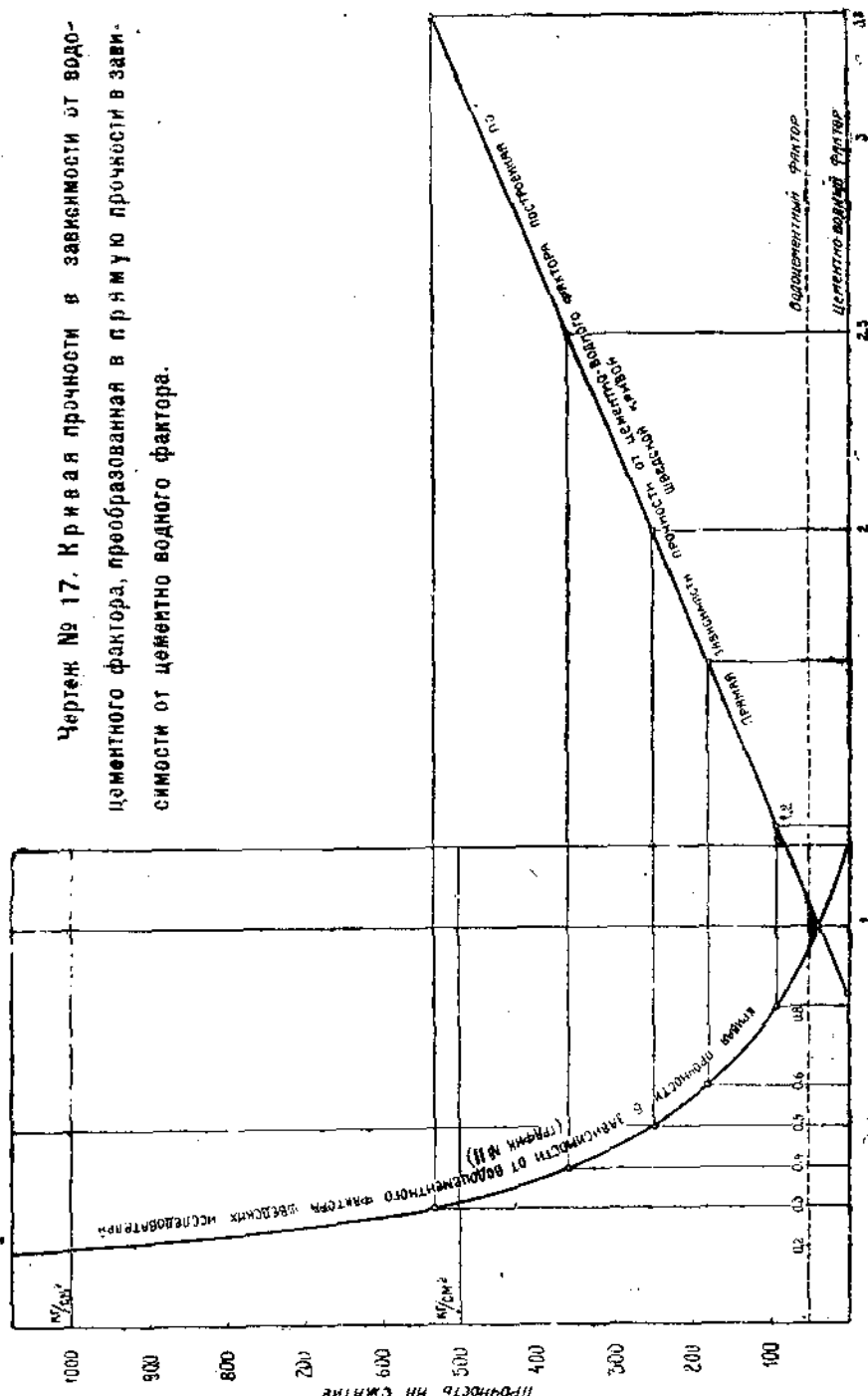
В настоящее время намечается тенденция перехода к непосредственному изучению бетона. Испанские нормы приемки цемента предписывают испытывать таковой в виде нормального бетона. Нам кажется правильной оценка шведскими авторами решающего значения цементного камня. Основные особенности бетона кроются в сравнительно небольшой по объему составной его части—в цементном камне. В введении мы отметили, что требования прочности бетона и податливости бетонной массы обуславливают требования, предъявляемые к качеству цементного камня и влияют на расход цементного теста на кубометр бетона. Здесь мы укажем на двойную взаимную связь отошателя и цементного теста: пыль отошателя уплотняет цементное тесто, цем. тесто в свою очередь уплотняет отошатель.

Введение пыли в цементное тесто повышает прочность цементного камня, так как пыль, обладающая большой поверхностью прочно абсорбирует воду и облегчает перевод ее из состояния свободной или слабо увязанной в прочно увязанное. Это обстоятельство непосредственно увеличивает прочность цементного камня. Если в камне образуются поры более или менее значительной величины, то наличие в них уплотняющей пыли повышает прочность камня чисто статически, так как пыль распределяет давление и улучшает работу стенок пор.

Опыты ЗИС'а подтвердили, что добавление пыли в тесто до известных пределов повышает прочность камня. Цементное тесто заполняя пустоты отошателя и смазывая поверхности зерен, образует, по отвердевании в цементный камень, систему, пронизывающую весь бетон. При загрузке бетона происходит распределение усилий между отошателем и цементным камнем, В классическом бетоне, изготовляемом на отошателе твердых пород, цементный камень является слабой частью.

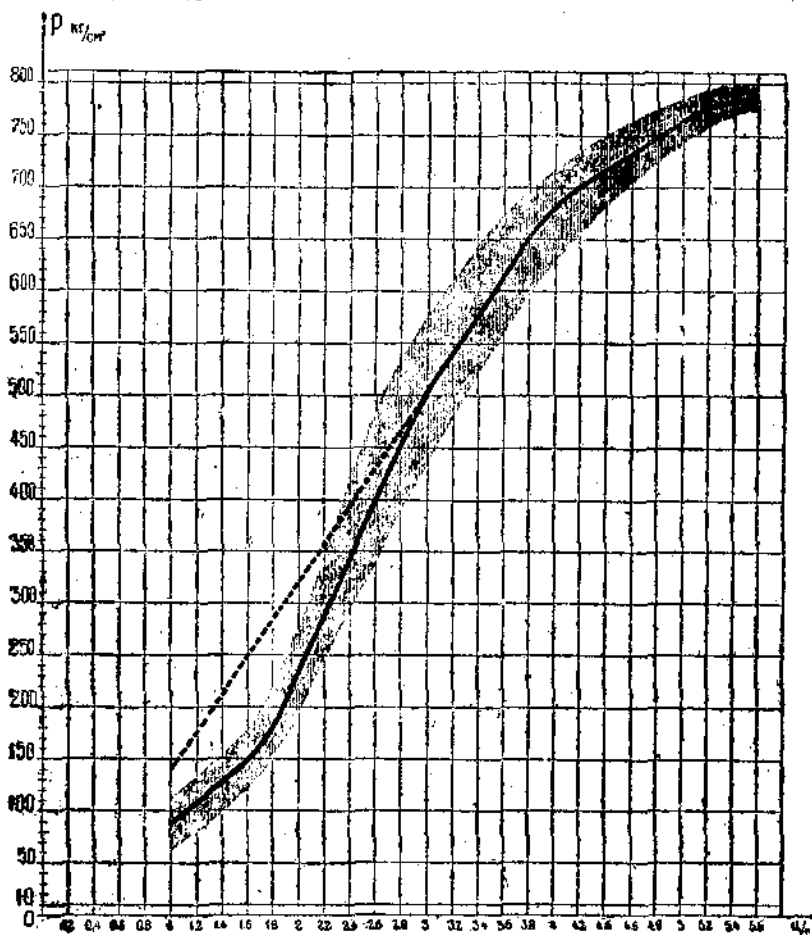
При распределении усилий отошатель, как более прочная составная часть, обладающая большим модулем упругости по сравнению с цементным камнем, воспринимает большую долю напряжения. Чем прочнее отошатель и чем сложнее структура бетона, тем больше разгружается цементный камень. Известный факт, что бетон на щебне прочнее, при прочих равных условиях.

Чертеж № 17. Кривая прочности в зависимости от водоцементного фактора, преобразованная в прямую пропорции в зависимости от цементно-водного фактора.



бетона на гравии нельзя объяснить понижением цементно-водного фактора цементного камня за счет большего расхода воды на смачивание поверхности щебня, которая превышает поверхность гравия. Легко в этом убедиться, изготовив битумный бетон на гравии в щебне.

Система цемент + вода, отощенная песком и камневидной образует бетон, при этом повышается прочность основной системы за счет уплотнения пылевидной частью далее, при ра-



Чертеж 18.

Кривая прочности на сжатие Новороссийского порландцемента в возрасте 42 дней. Хранение смешанное: 1 день в форме, 6 дней в воде, а затем на воздухе. (Работа ЗИС'а 1929 год).

боте бетона основная система разгружается из за перегрузки более прочной части системы бетона — отощателя. Достаточность сцепления цементного камня с отощателем доказана многочисленными опытами.

Зависимость подвижности бетонной массы от смазочной способности цементного теста не может быть здесь обсуждена, так как авторы не изучали смазочной способности теста.

ЗИС подходил к изучению этого вопроса обходным путем, не имея приборов для непосредственного измерения смазочной способности цементного теста. Нам кажется своевременным объявить конкурс на изготовление прибора для измерений смазочной способности теста. Наличие такого прибора весьма облегчило бы изучение бетона.

Примечание 2. Прочность на сжатие.

Работа авторов весьма убедительна. Особый практический интерес представляет график 11.

Вводя в качестве переменной цементно-водный фактор вместо водно-цементного принятого автором, мы обращаем кривую зависимости прочности в прямую, что весьма упрощает дело изучения цемента и проектирования состава бетона. На чертеже № 17 (стр. 304) показана прямая построенная по кривой (см. чертеж № 11) авторов. Для сравнения прилагаем кривую прочности, (чертеж № 18) полученную ЗИС'ом для портланд-цемента марка „О“ Новороссийских заводов.

Достигнутые нами прочности приближаются к передельным шведских исследователей, что подтверждает хорошие качества Новороссийского цемента. Далее, на нашем графике показана экстерполиция линейного закона изменения прочности в сторону пониженного ц-в фактора в случае введения уплотняющей добавки. Экстерполирующая прямая нанесена пунктиром и сливается с основной кривой в точке, соответствующей ц-в фактору, при котором в камне образуются поры. Обычные бетоны изготавливаются на тесте с ц-в ф., лежащим в вилке образованной основной кривой и пунктирной прямой. В случае изготовления пресованных изделий возможно применение теста с оптимальным ц-в ф., т. е. с фактором, обеспечивающим максимальную прочность камня. Дальнейшее уменьшение воды вредно, так как воды не хватает в этом случае на образование твердой фазы.

Примечание 3. Прочность на растяжение.

В этой части исследование поставлено не достаточно точно и результаты вызывают сомнения. Исследователи хранили образцы в исключительно благоприятных условиях при постоянной температуре и влажности и мимо их внимания

прошел фактор, имеющий большое значение при развитии прочности на растяжение.

Этим фактором являются внутренние напряжения, возникающие в образцах. Внутренние напряжения, возникающие при быстром протекании процесса ведут к понижению прочности на растяжение. Нельзя согласиться с утверждением авторов о максимальной возможной прочности на растяжение в 70 кгс/кв. см. В лаборатории ЗИС'а некоторые образцы показали прочность, превышающую 90 кгс/см². Прочности на растяжение такого же порядка показывают бетоны, изготовленные центробежным способом. При этом методе изготовления бетона быстро достигается увеличение объемного процента твердой фазы, что и позволяет рассчитывать на достижение прочностей на сжатие, близких к предельным (ω 1200 кгс/см.² < 1700 кгс/см.²) и дает прочности на растяжение, превышающие предел, подсчитанный авторами (70 кг/см²).

Примечание 4. Модуль упругости.

Модуль упругости определялся исследованиями на кубиках, при трехкратной последующей нагрузке и разгрузке, причем максимальная загрузка давалась до величины не превышающей половину разрушающей нагрузки (см. стр. 285) Характер деформаций показан на графике № 3 (стр. 285). Нужно отметить, что при проведении исследования не отделены пластические деформации от упругих, и нагрузки доведены лишь до половины разрушающей, что не дает картины работы материала в стадии разрушения.

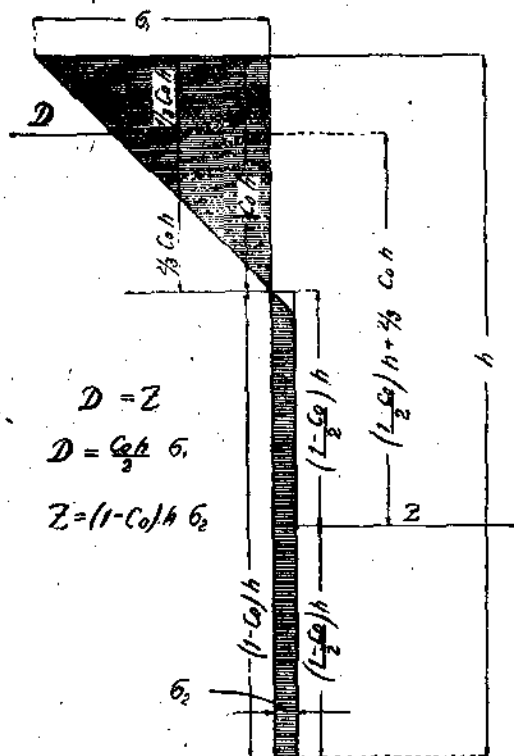
Формула данная авторами (см. стр. 297).

$$E_m = K \cdot \sqrt[3]{T \cdot D}$$

показывает, что модуль упругости бетона на сжатие зависит от прочности его на скалывание, так как прочность на скалывание, как известно, пропорциональна корню квадратному из произведения прочностей на сжатие и растяжение. Так как пластичные деформации зависят от прочности на скалывание, то создается впечатление, что формула, данная авторами учитывает в большей степени пластичность бетона. На странице 297 исследователи отмечают, что „хорошее совпадение можно объяснить отсутствием в бетоне явно выраженного предела пропорциональности“. Кроме того на той же странице 297 авторы подчеркивают, что модуль упругости определялся или в пределах упругости в то время, как прочности на растяженое и сжатие определяются при разрушении. Так как знание упругих и пластичных свойств цементного камня при работе как на сжатие, так и на растяжении прольет свет на работу бетона и железобетона и внесет ясность в расчет, что сулит большие экономические выгоды, то необходимо изыскать средства на неотложное проведение работ.

Весьма вероятно, что пластические свойства материала зависят от коллоидов и гелей, содержащихся в цементном камне, т. к. эти аморфные массы позволяют развиваться пластичным деформациям при сжатии и растяжении.

Отощатель и твердая фаза цемента вряд ли обладают существенной пластичностью при тех сравнительно низких напряжениях, которые встречаются в бетоне и даже железобетоне:



Чертеж № 19. Диаграмма напряжений в изогнутом бетонном сечении в предположении развития пластических деформаций.

Первые работы можно было бы провести на бетонных кубиках, призмах и балочках.

На кубике мы определяем прочность на сжатие σ_1 на призме прочность того же бетона на растяжение σ_2 и, наконец, на балочках прочность на растяжение при изгибе — σ^i

В основу расчета может быть положена следующая схема: сжимающие усилия в бетоне распределяются по треугольнику,

возможно, достигая кубиковой прочности; растягивающие же усилия за счет развивающейся пластичности распределяются по трапеции и равны прочности на растяжении (см. чер. № 19).

Принимая ширину балки (для простоты) за единицу—имеем

$$D = \sigma_1 \frac{Co \cdot h}{2}$$

где

D сжимающая сила в бетоне

h высота балки,

Co — сжатая часть бетона.

Далее

$$Z = (1 - Co) \cdot h \cdot \sigma_2$$

где Z растягивающая сила в бетоне, определенная для простоты в предположении распределения давления по прямоугольнику.

Из условия

$$D = Z$$

имеем

$$\frac{Co \cdot \sigma_1}{2} h = (1 - Co) \cdot \sigma_2 \cdot h$$

откуда

$$Co = \frac{1}{1 + \lambda} \dots (1),$$

где

$$\lambda = \frac{\sigma_1}{2 \cdot \sigma_2}$$

Плечо внутренних сил пары равно, как это видно из чертежа

$$h \left(1 - \frac{Co}{3} - \frac{1 - Co}{2} \right) = \frac{h}{6} (3 + Co)$$

Обозначая разрушающий момент действующий на балку шириной b через M имеем

$$\frac{M}{b} = \frac{h}{6} (3 + Co) \sigma_1 \frac{Co \cdot h}{2}$$

откуда

$$\sigma_1 = \frac{12 M}{b \cdot h^2 \cdot Co (3 + Co)}$$

Прочность бетона на изгиб определяется по формуле

$$\sigma' = \frac{6 \cdot M}{b \cdot h^2}$$

Следовательно $\sigma_1 = 2 \sigma' \frac{1}{Co (3 + Co)} \dots (2)$

Опыты дадут проверку формул 1 и 2 позволят выяснить действительную работу бетона, которая вероятно будет отличаться от приведенной схемы.

Возможно, что при проведении испытания, балочки придется снабдить самой легкой арматурой для предохранения аппаратуры от быстрого излома образца.

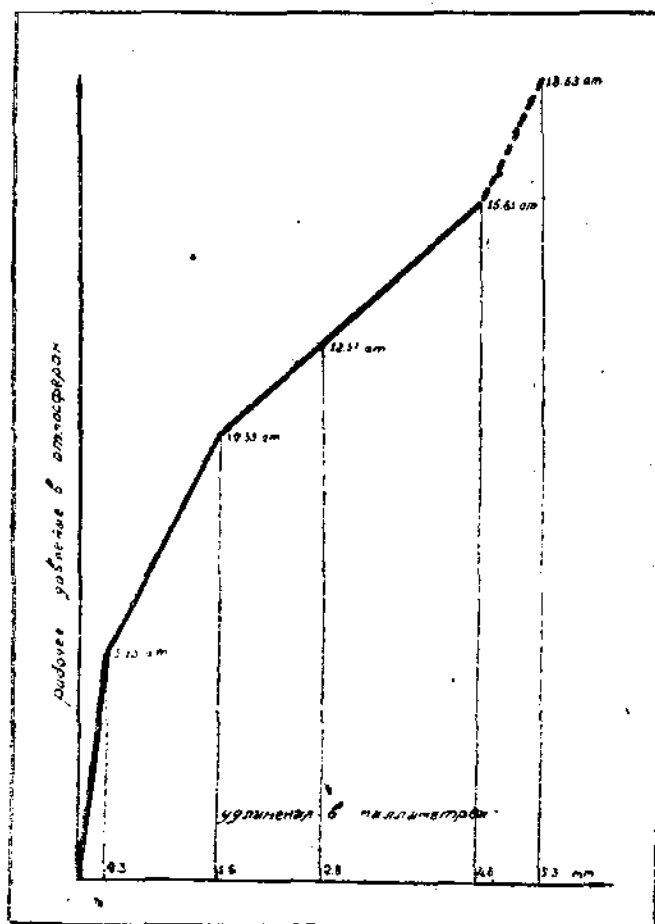
Положение Консидера опровергнутое работами Мерш'а, Клейнгогеля и других авторитетов должно быть вновь рассмотрено так как практика выдвинула ряд фактов не поддающихся объяснению, если оставаться на точке зрения Мерш'а — Клейнгогеля. Разрыв между практикой и теорией недопустим. Наблюдения американских исследователей подтвердили пластичное обжатие бетона. Констатированы также удлинения бетона происходившие без появления трещин в материале и много превышавшие не только пределы Мерш'а, но и Клейнгогеля. В качестве примера подобных больших удлинений бетона, не сопровождавшихся появлением трещин, приведем результаты испытаний железобетонных асфальтированных труб произведенных водоснабжением города Бордо.

Характеристика испытанных труб следующая: длина 3,96 м. диаметр 800 мм, толщина стенки 63,5 мм, толщина асфальтового покрытия 12,7 мм, кольцевая арматура—69 спиралей из железа диаметром 6 мм и долевая арматура из 12 стержней

Длительность нагрузки в минутах	Внутреннее давление в атмосферах	Водоупорность	Увеличение обхвата в миллиметрах	
			Трубы	Муфты
0	0—5,13	Ни трещин, ни просачив.	0	0
15	5,13	" "	0,3	0
15	5,13—10,33	" "	0,3—1,6	0—1,2
15	10,33	" "	1,6	1,2
15	10,33—12,37	" "	1,6—2,8	1,2—1,5
10	12,37	" "	2,8	1,5
10	12,37—15,61	" "	2,8—4,6	1,5—2,1
5	15,61	" "	4,6	2,1
5	15,61—18,63	" "	4,6—5,3	2,1—3,5
Разрушение при	18,63	Нет трещин до разрушения.	5,3	3,5

диаметром 7 мм. Стык труб муфтный. Испытание производилось на внутреннее давление. Результаты испытаний сведены в таблицу¹⁾.

Для наглядности результаты испытаний сведены в график (см. черт. № 20),



Черт. № 20. Абсолютные удлинения труб, испытанных в Бордо.

¹⁾ Мы цитируем статью доктора и-ра Эрвина Маркварта: „Центрофугированные бетонные и железобетонные трубы“ Bautechnik № 40 от 16 сентября 1930 года, страница 595.

На оси абсцисс отложены величины деформаций трубы в миллиметрах, а на оси ординат нанесены величины рабочего давления в атмосферах.

Сплошной линией соединены точки соответствующие испытанию давлением до 15,61 атмосфер, а последний участок соответствующий нарастанию давления до разрушающей величины в 18,63 атмосферы показан пунктиром. Кривая деформации в пределах до давления в 15,61 атмосфер имеет закономерный вид и лишь последний (пунктирный) участок, примыкающий непосредственно к стадии разрушения может возбудить сомнения. Возможно, что нагрузка давалась слишком быстро (всего пять минут) и в материале не успели развиться деформации.

Остановимся на деформации в 4,6 мм как вполне вероятной и подсчитаем относительное удлинение бетона, выдержанное материалом без образования трещин В запас расчета отнесем удлинение не к осевому, а внешнему периметру трубы.

Внешний диаметр трубы равен диаметру в свету увеличенному на толщину стенок и асфальтового слоя.

$D = 800 + 2(12,7 + 63,5) = 952,4$ мм. Внешний обхват трубы.

$O = \pi \cdot D = 3000$ мм.

Максимальное относительное удлинение бетона

$$\epsilon = \frac{4,6}{3.000} = 15,3 \cdot 10^{-4}$$

Фактическое удлинение бетона превышает более чем в семь раз предельное удлинение данный Клейнлогелем — $2 \cdot 10^{-4}$

Приведенные соображения говорят о необходимости дальнейшего изучения бетона для устранения разрыва между современной теорией и практикой бетона.

Примечание 5 Водопроницаемость.

Опыт ЗИС'а по изготовлению плотных бетонов подтверждает правильность вывода шведских исследователей. При изготовлении плотных бетонов мы должны стремиться к возможному уменьшению содержания цемента, так как коллоидная часть цементного камня может послужить ходом для воды. Помимо смещения коллоидной воды, нужно учитывать и пластическое обжатие коллоидной массы при высоком капиллярном давлении.

За уменьшение содержания цемента в бетоне говорит и опасность появления усадочных трещин, растущая с ростом содержания цемента.

Если водоупорные бетоны подвержены действию низких температур то для избежания повреждения от морозов желательна прочность не ниже 100 кг/см^2 .

Таблица № 1.

Портланд цемент

Возраст дней	Содержание воды в %	Объем % тверд. фазы	Кубиковая прочность кг/см. см	Прочн. на разрыв кг/см. см	Модуль упругости кг/см. см	Объем. проц. слабоуязв. воды ¹⁾	Усадка мм/150 мм	Объем. проц. св.б. и слабоуязв. воды	Прочность воды гр/100 ч.
0	26,3	54,4	—	—	—	—	—	—	—
1	26,3	59,2	86,5	11,9	49000	30,2	0,19	40,8	1,8
3	26,3	63,9	350	26,7	99000	31,9	0,19	36,2	1,9
7	26,3	72,0	543	35,6	123000	28,0	0,24	28,0	0,34
23	26,3	74,0	712	50,7	161000	26,0	0,13	26,0	—
0	44,0	41,7	—	—	—	—	—	—	—
1	44,0	45,3	8,6	2,6	1000	24,2	0,30	54,7	8,3
3	44,0	49,0	92,3	12,3	33000	34,8	0,20	51,0	5,1
7	44,0	54,8	199	19,5	60000	34,5	0,46	45,2	2,0
28	44,0	57,2	335	23,6	89000	34,6	0,28	42,8	0,32
0	49,2	39,0	—	—	—	—	—	—	—
1	49,2	—	—	—	—	—	—	—	—
3	49,2	45,8	61,8	11,0	25000	26,7	0,43	54,2	1,2
7	49,2	51,2	155	17,1	49000	35,9	0,49	48,8	0,95
23	49,2	55,6	311	26,8	79000	26,7	0,37	44,4	0,90
0	45,8	40,7	—	—	—	—	—	—	—
1	45,8	—	—	—	—	—	—	—	—
3	45,8	—	—	—	—	—	—	—	—
7	45,8	50,6	1,70	17,8	62000	40,6	0,49	49,4	1,2
23	45,8	—	—	—	—	—	—	—	—

1) Подсчитанный, как разность всего и свободного объема воды.

Таблица № 2.

Глиноземистый цемент

Возраст дней	Содержание воды в %	Объем % тверд. фазы	Кубиковая прочность кг/кв. см	Прочн. на растяжение кг/кв. см.	Модуль упругости кг/кв. см	Объем. проц. слабоуязван. воды ¹⁾	Усадка мм/150 мм	Объем. проц. своб. и слабоуязван. воды	Прочность гр/100 ч.
0	26,7	54,6	—	—	—	—	—	—	—
1	26,7	71,8	580	29,5	131000	19,9	0,20	28,2	0,08
3	26,7	74,8	662	40,7	155000	21,2	0,07	25,2	0,20
7	26,7	75,9	736	33,0	168000	24,0	0,08	24,1	0,19
28	26,7	79,9	880	43,5	231000	20,1	0,12	20,1	0,71
0	45,0	41,6	—	—	—	—	—	—	—
1	45,0	60,8	332	24,6	87000	31,8	0,23	39,2	0,80
3	45,0	65,0	393	31,4	102000	24,8	0,23	35,0	1,0
7	45,0	65,9	430	17,4	103000	34,1	0,23	34,1	1,1
28	15,0	70,6	497	21,8	125000	29,4	0,16	29,4	0,83
0	58,8	35,3	—	—	—	—	—	—	—
1	58,8	52,9	249	14,3	65000	36,8	0,34	47,1	0,88
3	58,8	56,1	367	16,0	88000	30,5	0,23	43,9	1,0
7	58,8	59,3	319	15,6	90000	28,2	0,23	40,7	1,4
28	58,8	60,1	426	17,2	98000	39,9	0,18	39,9	1,2
0	76,9	29,5	—	—	—	—	—	—	—
1	76,9	46,3	150	10,1	53000	—	0,30	53,7	2,7
3	76,9	49,3	262	16,0	70000	30,1	0,27	50,7	2,6
7	76,9	49,3	302	17,3	84000	27,0	0,20	50,7	1,0
28	76,9	52,1	407	13,8	91000	28,8	0,22	47,9	1,4

1) Подсчитанный, как разность всего и свободно объема воды.

Таблица № 3.

Смешанный цемент

Возраст дней	Содержание воды в %	Объем. % тверд. фазы	Кубиковая прочность кг/кв. см	Прочн. на растяжение кг/кв. см	Модуль упругости кг/кв. см	Объем. проц. слабоуязвим. воды ¹⁾	Усадка мм/150 мм	Объем. проц. своб. и слабоуязвим. воды	Прочность водн. тр./100 ч.
0	45,7	39,6	—	—	—	—	—	—	—
1	45,7	—	—	—	—	—	—	—	—
3	45,7	47,4	100	12,6	22000	41,7	0,75	52,6	5,2
7	45,7	52,2	168	14,5	38000	44,9	0,65	47,8	3,1
28	45,7	53,2	228	11,1	52000	46,8	0,87	46,8	2,2
0	68,3	30,5	—	—	—	—	—	—	—
1	68,3	—	—	—	—	—	—	—	—
3	68,3	36,2	26,9	11,3	10000	—	1,1	63,8	9,4
7	68,3	39,6	64,3	9,8	12000	44,9	1,2	60,4	7,2
28	68,3	40,7	92,9	12,4	26000	53,0	0,96	59,3	28,0
0	94,7	24,0	—	—	—	—	—	—	—
1	94,7	—	—	—	—	—	—	—	—
3	94,7	—	—	—	—	—	—	—	—
7	94,7	29,7	18,4	4,4	2000	38,9	1,2	70,3	12,5
28	94,7	31,9	32,2	7,1	5000	43,3	1,3	68,1	23,7

¹⁾ Подсчитанный как разность всего и свободного объема воды.

Таблица № 4.

Штукатурный гипс

Возраст дней	Содержание воды в %	Объем. % тверд. фазы	Кубиковая прочность кг/кв. см	Проча. на растяжение кг/кв. см	Модуль упругости кг/кв. см	Объем. проц. слабоуязв. воды ¹⁾	Усадка мм/150 мм	Объем. проц. своб. и слабоуязв. воды	Прочлод воды гр/100 ч.
0	59,2	38,8	—	—	—	—	—	—	—
7	64,0	56,5	77,8	13,2	18000	9,5	0,08	43,5	27,5

¹⁾ Подсчитанный, как разность всего и свободного объема воды.

Таблица № 5.

Клинкер + гипс

Содержание гипса	Возраст дней	Содержание воды в %	Объем. % тверд. фазы	Кубиковая прочность кг/кв. см	Прочность на растяжение кг/кв. см	Модуль упругости	Объем. проц. слабоуязв. воды ¹⁾	Усадка мм/150 мм	Объем. проц. своб. и слабоуязв. воды	Прочлод воды гр/100 ч.
0	0	46,1	40,7	—	—	—	—	—	—	—
0	7	46,1	50,9	119	17,4	52000	36,1	0,25	49,1	2,7
0	28	46,1	52,8	291	24,9	98000	37,4	0,17	47,2	0,6
2	0	45,9	40,6	—	—	—	—	—	—	—
2	7	45,9	52,2	97,9	16,0	29000	37,6	0,19	47,8	2,6
2	28	45,9	52,2	191	21,9	67000	38,8	0,11	47,8	2,8
6	0	45,3	41,4	—	—	—	—	—	—	—
6	7	45,3	49,2	31,9	6,2	4000	31,9	0,26	50,8	2,4
6	28	45,3	49,7	65,3	7,9	24000	32,2	0,20	50,3	3,1
10	0	48,1	39,7	—	—	—	—	—	—	—
10	7	48,1	46,2	50,0	9,0	8000	96,3	0,25	53,8	6,0
10	28	49,1	47,4	87,0	10,9	27000	33,0	0,39	50,2	2,6

¹⁾ Подсчитанный, как разность всего и свободного объема воды.

Таблица № 6.

Зависимость между модулем упругости и прочностями на сжатие и растяжение

Соотношение водн %	Возраст (ко- лич. дней)	Портланд-це- мент		Глиноземистый цемент		Смешанный цемент		Штукатурный гипс		Клинкер-гипс (содержание водн 50%)				Найдено 10 ⁻³
		Найдено 10 ⁻³	R V T D	Найдено 10 ⁻³	R V T D	Найдено 10 ⁻³	R V T D	Найдено 10 ⁻³	R V T D	Возраст (колич. дней)	Гипс %	R V T D	Найдено 10 ⁻³	
30	1	31	49	127	131	—	—	—	—	—	—	—	—	
30	3	34	53	159	155	—	—	—	—	—	—	—	—	
30	7	137	123	151	168	—	—	—	—	7	0	44	52	
30	28	184	161	190	231	—	—	—	—	28	0	82	98	
50	1	5	1	83	87	—	—	—	—	7	2	38	29	
50	3	33	33	108	102	22	34	—	—	28	2	63	67	
50	7	60	60	84	103	38	48	31	18	7	6	14	4	
50	28	86	89	101	125	52	49	—	—	28	6	22	24	
70	1	—	—	58	65	—	—	—	—	7	10	21	9	
70	3	25	25	74	88	10	17	—	—	28	10	30	27	
70	7	50	48	68	90	12	24	—	—	—	—	—	—	
70	28	88	79	83	98	26	33	—	—	—	—	—	—	
100	1	—	—	38	53	—	—	—	—	—	—	—	—	
100	3	—	—	63	70	—	—	—	—	—	—	—	—	
100	7	53	62	70	84	9	9	—	—	—	—	—	—	
100	28	—	—	73	91	15	15	—	—	—	—	—	—	

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
От Дирекции Закавказского Института Сооружений	I
Предисловие	II
ОТДЕЛ ПЕРВЫЙ	7—77
Глава первая. Цементное тесто. Цементный камень	7—32
Классический бетон	7
Прочность бетона	8
Прочность цементного камня	9
Кривая прочности и прямая прочности цементного камня	12
Опыты ЗИС'а 1929 г.	13
Формулы Графа и Абрамса	19
Шведские исследования	21
Податливость бетонной массы	21
Конус Абрамса	22
Столик Графа	23
Столик Батке	24
В е с ы	25
Наклонный желоб	26
Столик Скрамтаева	27
Смазочная способность цементного теста	30
Опыт Рурского союза	31
Глава вторая. Отощатель	33—46
Пористость отощателя	33
Зерновой состав	34
Кривая Фуллера	35
Правило Графа	37
Модуль Абрамса	37
Коэффициент Скрамтаева	39
Удельная поверхность	42
Удельная поверхность и кривая грануляции	42
Глава третья. Основы проектирования состава бетона	47—77
Метод Сафира	47
Метод Абрамса	49
Принципы ЗИС'а	53
Коэффициент заполнения пустот	56
Метод последовательного проектирования	58
Коэффициент уплотнения бетона	60
Коэффициент уменьшения объема	60
Пористость отощателя	61
Фактор отощателя	61
Цементное тесто и отощатель	65
Зависимость коэффициента уменьшения объема α и пустотности от фактора отощателя	65
Критический фактор отощателя	68
Оптимальный фактор отощателя	70

Минимум расхода цементного теста	70
Зависимость φ от δ	71
Схема прямого проектирования состава	73
Схема упрощенного прямого проектирования	76
ОТДЕЛ ВТОРОЙ	78
Глава первая. Памятка бетонщика	78—89
Раздел первый	78
Раздел второй	83
Раздел третий	86
Глава вторая. Полевой метод прямого проектирования	87—112
Изучение отощателя	89
В о д а	95
Це м е н т	95
Проектирование состава бетона	100
Таблица № 1	104
Таблица № 2	106
Глава третья. Упрощенный прямой метод проектирования состава бетона	113—153
Определение критического значения фактора отощателя	113
Отыскание оптимального фактора отощателя	116
Проектирование состава бетона Темерникстроя	119
Номограммы инж. В. В. Михайлова для прямого проектирования состава бетона	145
Глава четвертая. Прямой метод проектиров. состава бетона	154—182
Проектирование состава бетона Ац-ГЭС	157
Глава пятая. Метод последовательного проектирования со- става бетона	183—215
Номограмма для проектирования состава бетона последоват. методом	187
Проектирование состава бетона Дзорагетстроя	203
ОТДЕЛ ТРЕТИЙ. Приложения	217—317
Инструкция по проектированию состава бетона и контролю его качества в производстве работ	219—277
ОСТ 1309	222
ОСТ 1310	227
Отощатель	244
Проектирование состава бетона	252
Контроль дозировки и качества бетона	258
Формы ведения записей	268
Зависимость технически важных качеств бетона от физико-хи- мических свойств цемента	279—317
П р е д и с л о в и е переводчика	279
Методы измерений	282
Зависимость между физико-химическими и техническ. свойствами	292
Резюме	301
Примечания переводчика	303
Сводка результатов измерения (таблицы)	313