

ВСНХ СЮЗСТРОИ СССР
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАУЧНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ
И Н С Т И Т У Т
ГРАЖДАНСК., ПРОМ. И ИНЖЕНЕРНЫХ
С О О Р У Ж Е Н И Й

СЕКТОР БЕТОННЫХ И ЖЕЛ.-БЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ
КАЧЕСТВА БЕТОНА

Цена 75 коп.

ВВЕДЕНИЕ ВООР

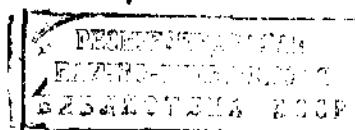
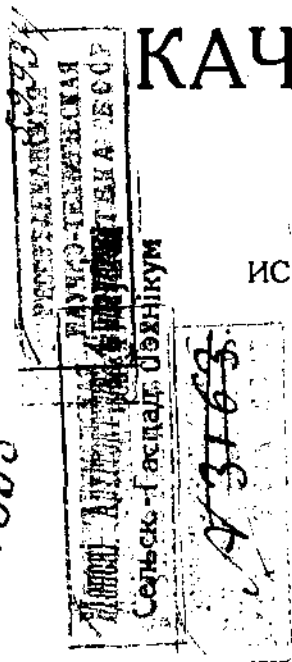
И. П. АЛЕКСАНДРИН



СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА БЕТОНА

ИЗДАНИЕ 3-е
ИСПРАВЛЕННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ

41353



Др. 89

Дер.

Др 96, 08

ПРЕДИСЛОВИЕ К 3-му ИЗДАНИЮ.

Настоящее издание выходит дополненным в части, касающейся методов полевых испытаний цемента и бетона, а также указаниями на значение в приобретении бетоном тех или иных качеств, так называемых „производственных факторов“. Внесено также дополнение в главу об организации полевых лабораторий.

Помимо дополнений в значительной мере переработан весь остальной текст и внесено ряд изменений и исправлений, как в главах, относящихся к вопросам исследования составных частей бетона, так и в главах, трактующих о проектировании бетона.

В последних исключено применение при подборе состава бетона пользование „графиками равных сопротивлений“, и предложен способ непосредственного выбора составов по зависимостям связывающим консистенцию бетона с водоцементным фактором.

Инж. И. Александрин.

ПРЕДИСЛОВИЕ КО 2-му ИЗДАНИЮ.

Второе издание настоящей работы выходит с небольшими исправлениями и дополнениями по сравнению с первым (литографированным) изданием, разошедшимся в начале текущего года.

Инж. И. Александрин.

ВВЕДЕНИЕ.

1. Стремление удешевить стоимость строителъств привело в крупнейших странах Западной Европы и Америки к максимально возможной механизации строителных работ. В этом отношении строителная техника,— в частности, техника железобетонного и бетонного строителства,— достигла ряда больших успехов.

В настоящее время всюду широко применяется изготовленне бетона литым способом, позволяющим довольно в полной степени механизировать производство бетонных работ.

Выгодность применения литого бетона в отношении удобства производства работ была давно известна строителям, но все же к бетону такого рода в большинстве случаев питалось недоверие, так как известно было, что литой бетон (с большим содержанием воды), при всех прочих равных условиях (количество цемента на кубометр бетона, род и качество цемента и инертных добавок) имеет меньшую прочность, нежели бетон трамбованный (с малым содержанием воды).

Недостаточная исследованность свойства литого бетона и отсутствие, вследствие этого, научно поставленных методов определения на месте работ качества бетона, изготовляемого литым способом, тормозили до последнего времени широкое распространение этого способа изготовления бетона.

В настоящее время благодаря обширным исследованиям, произведенным по заданию портланд-цементной Ассоциации американскими лабораториями под руководством проф. Абрамса, этот вопрос получил свое разрешение.

Проф. Абрамс на основании многочисленных опытов выразил важнейшую характеристику качества бетона—прочность в такой математической зависимости от факторов, влияющих на нее, которая позволяет достаточно уверенно устанавливать составы бетона требуемой прочности для данного рода цемента и инертных добавок.

Выработанный на основании работ проф. Абрамса метод выбора наиболее рационального состава бетона и контроля над качеством бетона на месте работ и послужил базисом для быстрого распространения литого бетона.

На путь исследований в этой области, подобных американским, вступили и наиболее прогрессивные западно-европейские страны.

У нас в СССР начало такого рода исследованиям положено Механической Лабораторией Ленинградского Института Инженеров Путей Сообщения, опубликовавшей к настоящему времени ряд результатов своих работ.¹

¹ Проф. Н. М. Беляев. Метод подбора состава бетона. Изд. 2-е, 1929 г. Сборник ЛИИПС, вып. 103.

См. также вып. 1. Института Бетонов, 1930 г.

Метод Абрамса быстро распространился в среде строителей и в настоящее время в СССР нет почти ни одного более или менее крупного строительства, на котором не применялся бы этот метод установления дозировки бетона.

Крупные строительства, учитывая значение лабораторных исследований, организуют на месте работ свои лаборатории, в некоторых случаях прекрасно оборудованные, роль которых заключается в предварительных исследованиях качеств материалов, которые строительство предполагает применять в бетоне, в выработке зависимостей качеств бетона по типу американских и в выборе наиболее рациональных составов бетона. В процессе же производства работ лаборатории являются контролирующими организациями на строительстве за качеством бетона.

Необходимо отметить, что метод Абрамса выбора состава бетона не есть метод, который, по заблуждению некоторых строителей, должен дать какую-то обязательную экономию в расходе материалов (в особенности цемента) по сравнению со старыми нормами на бетон. Метод Абрамса, изменив взгляд на дозировку бетона, отводит каждому роду материалов свое место и дает возможность произвести на месте работ сравнение выгодности применения тех или иных материалов (цемент, песок, гравий или щебень), которыми строительство может располагать, и выбрать из них те, которые при правильно выбранной дозировке бетона (с точки зрения его качества) дадут наибольший экономический эффект.

Существовавшие до последних лет нормы на бетон, построенные преимущественно на основе исследований свойств трамбованного бетона, не учитывали ни в какой степени влияния качеств материалов, входящих в состав бетона, на его свойства. Совершенно игнорировалось также и количество воды в составе бетона, в то время, как от него существенно зависит прочность бетона.

В этом отношении проект норм Госплана, выработанный на основе экспериментальных работ Механической Лаборатории ЛИИПС, переработанный и дополненный затем в проекте норм ВСНХ, существенно восполнил этот пробел.

Особенностью современного бетонного строительства является, следовательно, обследование и систематический контроль качеств составных частей бетона на месте работ и проектирование, на основании опытных данных, составов бетона необходимого качества из данных материалов.

Наблюдение за изготовлением бетона, ухода за ним и последующая оценка прочности испытанием контрольных образцов бетона, являясь необходимым элементом всего строительного контроля, дают возможность самопроверки предварительных полевых исследований и проектирования бетона, а также внесения необходимых в некоторых случаях коррективов в дальнейшей работе.

Уверенность в качестве бетона при организации контроля на месте работ, несомненно, может быть учтена и при определении допускаемых напряжений бетона. Нормы на бетон должны особо учесть это обстоятельство и допускать при применении правильно налаженного контроля качества бетона несколько повышенные допускаемые напряжения.

Получив возможность уверенно применять литой бетон, строительства, имея в некоторых случаях „повышенный“ по сравнению с существовавшими нормами расход цемента на кубометр бетона, все же значительно выигрывают на самом процессе производства работ.

Быстрота возведения сооружений, вследствие возможной механизации работ, переход при известных условиях от громоздкой, дорого стоящей стандартной опалубки, к легкой передвижной, — все эти свойства применения литого бетона, дающие экономический эффект, в связи с уверен-

ностью в его механических качествах, легко объясняют то внимание строителей, которое в настоящее время обращено на него.

2. Составными частями бетона являются: цемент, вода и отошающие добавки—песок (мелкая добавка) и гравий или щебень (крупная добавка).

Механические качества бетона почти исключительно зависят от соотношения количества цемента и воды, при применении цемента одинакового качества и здоровых инертных добавках.

Соотношение количеств воды и цемента в составе бетона, следовательно, определяет важнейшее для строителя качество отвердевшего бетона—прочность.

Другое свойство бетона, важное при его изготовлении,—степень пластичности и способности наиболее удобно укладываться в деле, зависит при данном количестве цемента и воды от содержания в смеси отошающих добавок. Чем больше отошающих добавок приходится на единицу количества цементного теста (цемент и вода); тем менее пластична масса свежее приготовленного бетона.

Очевидно однако, что, если при всех прочих равных условиях изготовить бетон на цементе повышенного качества, то прочность такого бетона будет выше, нежели прочность бетона изготовленного с обыкновенным цементом.

Точно также очевидно, что консистенция бетона будет различна, если при всех прочих равных условиях в качестве крупной инертной добавки применить в одном случае гравий, а в другом—щебень.

Изучение влияния каждой из составных частей бетона на его свойства как при изготовлении, так и в процессе твердения дает возможность учитывать особенности применяемых в бетон материалов и правильно составлять из них бетон.

3. Помимо качества материалов и состава бетона, весьма видную роль в конечной прочности бетона в сооружении играют обстоятельства производства бетонных работ и режим, которому бетон подвергался в сооружении в начальный период твердения.

Процесс изготовления бетонной массы (дозировка составляющих, продолжительность перемешивание бетонной массы и т. д.), способ транспортировки, состояние погоды (осадки температуры), состояние опалубки и качество укладки бетонной массы в дело, последующий уход за бетоном и т. п.—все эти факторы, которые можно объединить под названием „производственных“. настолько значительно могут повлиять на качество бетона в сооружении, что, даже при совершенно рационально запроектированном составе, бетон может получиться низкого качества. Суммарное действие нескольких из перечисленных факторой может повлечь за собою изменение прочности в ту или иную сторону в некоторых случаях до 100 и более процентов.

Естественно, конечно, что необходимо знание степени влияния указанных производственных факторов, с тем чтобы возможно было бы учесть это влияние в процессе производства работ, предотвратить возможное вредное действие и направить, если это достижимо, в сторону улучшения качества бетона.

Таким образом, наблюдение за производством бетонных работ и регулирование его в некоторых деталях является неотъемлемой и весьма существенной частью строительного контроля.

1. СОСТАВЛЯЮЩИЕ БЕТОНА И КОНТРОЛЬ ИХ КАЧЕСТВА.

Портланд-цемент и его свойства.

Основным вяжущим веществом, применяемым для бетонных и железобетонных работ, является в настоящее время нормальный портланд-цемент.

Портланд-цемент есть гидравлическое вяжущее вещество — продукт тонкого перемола клинкера, получаемого равномерным обжигом до спекания тщательно дозированных 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.)^а. (ОСТ 1309).

Портланд-цемент отличается большой определенностью химического состава. Обжиг, производящийся при весьма высокой температуре (~1500°C), при действии которого сырые материалы, спекаясь вступают между собой в весьма тесную связь, играет большую роль в получении цемента, однородного по химическому составу.

Химический состав цемента отражается на всех свойствах цемента, как вяжущего вещества. Поэтому, для различных сортов цемента предусматриваются нормами пределы содержания той или иной составной части.

По общесоюзному стандарту ОСТ 1309 для портланд-цемента требуется, чтобы отношение процентного содержания CaO к сумме содержания кремнезема, глинозема и окиси железа ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), называемое основным или гидравлическим модулем, находилось в пределах 1,7 — 2,4 т. е.

$$\text{гидравлический модуль} = \frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} = 1,7 - 2,4.$$

Химический состав цемента помимо влияния на механические характеристики сказывается и на его физических свойствах, в особенности на важнейших для строителя качествах:

- 1) сроках схватывания и
- 2) равномерности изменения объема.

На величину сроков схватывания значительно влияет содержание в цементе гипса. Поэтому для регулирования сроков схватывания зачастую применяют добавку перед размолом клинкера некоторого количества гипса.

Однако, надо иметь в виду, что избыточное содержание в цементе гипса ведет к появлению трещин (растрескивание). Поэтому обычно ставится условием, чтобы добавка безводного гипса CaSO_4 к клинкеру при его перемоле не превосходила 3%.

Избыток магнезии также сказывается на увеличении объема, но через довольно большой промежуток времени, особенно при хранении на воздухе.

Нормы требуют, чтобы содержание MgO не превосходило 5%, а содержание SO_2 — 2,5%. Потеря при прокаливании не должна быть более 4%.

Удельный вес портланд-цемента обычно в среднем около 3,05—3,15.

Так как удельный вес зависит от состава, степени обжига, срока изготовления и вылеживания, то практически он не всегда достаточно хорошо характеризует остальные качества цемента. Нормами предусматривается лишь факультативное определение удельного веса цемента.

Тонкость помола является одним из важнейших факторов, влияющих на качества цемента.

Тонкость помола сказывается на сроках схватывания, вяжущей силе и количестве воды, потребной для затворения.

Определение степени тонкости помола производится просеиванием пробы цемента через сита в 900 отв./см² и 4900 отв./см². По нашим нормам полагается, чтобы на первом сите оставалось не более 2% и через второе проходило не менее 75%.

Вообще же хороший портланд-цемент должен пропускать через сито в 4900 отв./см² не менее 80—85%.

В последнее время даже обычные рыночные цементы по своим механическим свойствам значительно (особенно за границей) превышают требования норм. На рынке появились так называемые высокосортные цементы, и некоторые страны уже в нормах ввели подразделение цементов по сортам с определенными к каждому из них требованиями. Отличительным свойством таких цементов является быстрое нарастание прочности (при нормальных сроках схватывания).

В качестве примера приведем результаты испытания трех сортов цемента, изготовленного одним из германских заводов: ¹

ТАБЛИЦА I

Химический состав (главные составные части)	Обыкновенный портланд-цемент	Высокосортный портланд-цемент	Novo портланд-цемент
SiO ₂	22,08%	21,22%	20,26%
Al ₂ O ₃	2,32%	5,84%	4,93%
Fe ₂ O ₃	5,88%	3,56%	2,75%
CaO	64,44%	65,48%	66,16%
Гидравлический модуль	2,09	2,18	2,32
Силикатный модуль	2,69	2,53	2,64
Остаток на сите 900 отв./см ²	0,32%	0,1%	0,0%
" " " 4.900 "	15,0%	10,5%	3,3%
" " " 10.000 "	26,0%	20,4%	10,1%
Сопротивление раздавливанию (при нормальном хранении в воде):			
Через 3 дня	310 кг/см ²	411 кг/см ²	593 кг/см ²
" 7 дней	441 "	540 "	701 "
" 28 "	539 "	673 "	801 "
Тоже — разрыв:			
Через 3 дня	21,5 "	27,4 "	38,0 "
" 7 дней	26,1 "	31,8 "	39,6 "
" 28 "	32,2 "	36,6 "	39,7 "

¹ См. проф. В. Кинд. "Цементные материалы", изд. Академии Наук, 1927 г.

Как видно из приведенного примера, все три сорта цемента, будучи довольно близки по своему химическому составу (хотя с несколько увеличивающимся содержанием СаО), особенно значительно отличаются тонкостью помола.

Таким образом, достижение высоких механических качеств цементов объясняется:

1) подбором соответствующих сырых материалов, лишенных посторонних примесей и постоянных в своем составе, 2) тщательным обжигом и 3) самым тонким измолот цемента.

Действующим в настоящее время в СССР стандартом, портланд-цемент подразделяется в зависимости от механической прочности на три марки: 1) портланд-цемент „О“ (обыкновенный), 2) „ОО“ (повышенный) и 3) „ООО“ (высокосортный).

Для цементов марок „О“ и „ОО“ стандартом определяются минимальные нормы прочности, коим они должны удовлетворять ¹⁾.

По стандарту (ОСТ 1309) требуется, чтобы портланд-цемент показывал временное сопротивление сжатию раствора с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу не ниже:

Марка цемента	Через 4 дня	Через 7 дн.	Через 28 дн.
	Килограмм на кв. сантимет.		
„О“ (обыкновенный)	70	100	160
„ОО“ (повышенный) ¹⁾	120	180	275

Временное сопротивление растяжению требуется не ниже:

Марка цемента	Чистый п.-цемент 1:0			Раствор с нормальным песком 1:3		
	Через 4 дня	Через 7 дней	Через 28 дней	Через 4 дня	Через 7 дней	Через 28 дней
	Килограмм на кв. сантиметр					
„О“ (обыкновенный)	20	25	35	10	12	16
„ОО“ (повышенный)	25	30	45	12	16	25

Испытания портланд-цемента.

1. Отбор пробы для производства испытания.

Согласно действующих норм, поставка, заключающая в себе более трех тысяч бочек, разбивается на партии по три тысячи бочек в каждой. От каждой тысячи бочек партии отбирается по три бочки, из которых и берется проба по 5 кг из каждой. Отобранные пробы общим весом 45 кг перемешивают и делят на три части. Одна идет на испытание, другая остается у поставщика и третья предназначается для возможных контрольных испытаний. При доставке менее трех тысяч бочек также отбирают девять бочек и от каждой бочки отсыпают по 5 кг цемента.

¹⁾ Нормы прочности для высокосортного цемента еще не выработаны и в стандарте отсутствуют.

На месте работ, однако, рекомендуется учащать контроль качества цемента, отбирая из трех бочек каждой индивидуальной партии цемента по 3 кг, что составит пробу цемента весом 9 кг, с которой и должны быть произведены важнейшие испытания: определение сроков схватывания, и равномерности изменения объема. При наличии же на месте работ пресса необходимо учащенное определение и механических качеств цемента каждой партии.

2. Определение физических свойств портланд-цемента.

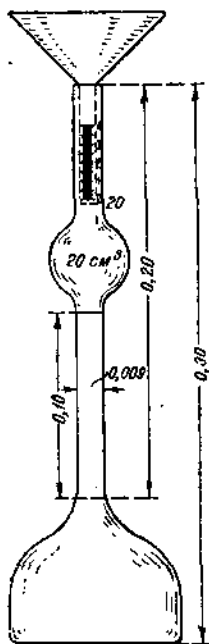
а) Удельный вес. Удельный вес высушенного нагреванием при 120°C в течении одного часа портланд-цемента обычно находится в пределах 3,05—3,15.

Удельный вес определяется помощью объеммера Лешателье-Кандло (фиг. 1).

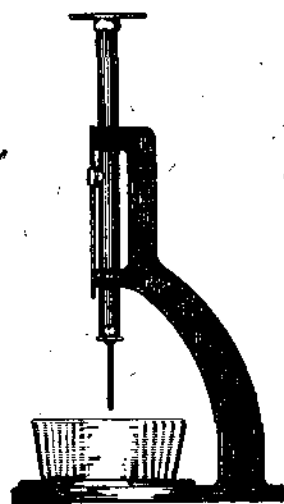
Прибор Лешателье-Кандло наполняется бензином (или керосином, бензолом) до нижней нулевой черты, что устанавливается по нижнему мениску. Прибор помещается в стеклянный цилиндрический сосуд с водой, имеющей температуру $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$, и закрепляется на специальном штативе. Отвешивается с точностью до 1 сантиметра 90—100 г портланд-цемента, предварительно высушенного при 120°C и охлажденного до $15\text{--}20^{\circ}\text{C}$. Через воронку прибора осторожно ложечкой всыпают цемент, пока уровень жидкости не поднимется до черты с делением в 20 см, причем обращается внимание на то, чтобы в приборе не остались пузырьки воздуха. Остаток взвешивается.

Разность весов до погружения в бензин и после погружения, определяющая количество всыпанного цемента, деленная на объем вытесненной жидкости, является удельным весом портланд-цемента. Удельный вес определяется, как среднее из двух опытов.

б) Определение нормальной густоты теста. Определение нормальной густоты теста (смесь цемента и воды) производится с помощью прибора Вика, состоящего из цилиндри-



Фиг. 1.



Фиг. 2.

ческого металлического стержня, свободно перемещающегося в вертикальном направлении в обойме станины. Вес стержня—300 г (фиг. 2.).

При перемешивании вручную отвешивают 400 г цемента и помещают в сферическую металлическую чашку. Далее добавляют определенное (отмеренное в см^3) количество воды и энергично перемешивают в течение 5 минут. По окончании перемешивания тесто укладывается в эбонитовое коническое кольцо, которое устанавливается на стеклянной пластинке. Кольцо и стеклянная пластинка предварительно протираются масляной тряпкой. Избыток теста срезается ножом в уровень с краем кольца. Подведя кольцо с тестом под стержень прибора Вика, доводят стержень до соприкосновения с поверхностью теста; при таком положении стержня делается отсчет на шкале прибора и, освободив зажимной винт, дают стержню свободно

погрузиться в тесто. Когда стержень остановится, закрепляют зажимной винт и делают отсчет.

За нормальную густоту теста принимают количество воды, выраженное в процентах от веса цемента, при котором стержень не доходит до дна на 7—5 делений.

Для различных цементов нормальная густота обычно находится в пределах от 20—30%.

в) Определение сроков схватывания. По определении нормальной густоты теста заменяют цилиндр, служивший для ее измерения, иглой Вика с площадью сечения в 1 мм², а верхнюю часть догружают до 300 г. Далее поступают так же, как при определении нормальной густоты. За начало схватывания принимается время от момента затворения (приливания воды) до того момента, когда игла не доходит до дна на 0,5 деления. Концом схватывания считается момент, когда игла погружается в тесто не более, как на 0,5—1 деление.

Определение сроков схватывания имеет чрезвычайно важное значение для строителя, ибо от момента начала затворения бетона, например, до момента полной укладки его в дело проходит иногда довольно значительный промежуток времени. Необходимо всемерно стремиться к тому, чтобы бетон был уже полностью уложен на место до наступления начала схватывания.

В том случае, если в распоряжении нет прибора Вика для определения сроков схватывания, а таковые для данного цемента неизвестны, или цемент вызывает в этом отношении подозрения, можно применить простой способ для приблизительного определения сроков схватывания.

Прежде всего путем попыток подбирают такое количество воды, добавляемое в цемент для образования теста, чтобы тесто (после перемешивания в течение 5 минут) при меньшем количестве воды делалось сухим, не вязким, а при большем содержании воды (на 1—2%) тесто становилось бы полужидким, пристающим к рукам, к лопатке и неспособным скатываться в шарики. Добившись таким образом нормальной густоты теста, из него скатывают шарик, который затем потряхиванием на стеклянной пластинке превращают в лепешку диаметром от 6—8 см толщиной посредине около 1 см.

Началом схватывания портланд-цемента можно считать тот момент, когда края царапины, проведенной на поверхности лепешки легким надавливанием ногтя или острым карандашом, не будут заметно изменять свою форму и царапина не будет затекать.

Портланд-цемент можно считать схватившимся, если легкое нажатие лепешки ногтем или острием карандаша не оставит на лепешке следа, или при легком трении на ней не будет выступать вода.

По нормам ОСТ и НКПС начало схватывания должно наступать не ранее 20 мин., конец же не ранее 1 часа и не позже 12 часов.

г) Проба на равномерность изменения объема. Таким же образом, как только что было описано, готовят четыре лепешки и два шарика диаметром около 4 см, которые на стеклянных пластинках помещаются под стеклянный колпак с влажным воздухом (например, под колпаком же устанавливается открытый сосуд с водой) и оставляются на 24 часа. Через сутки после изготовления шарики и две лепешки подвергаются ускоренной пробе кипячением в воде и в парах кипящей воды в течение четырех часов¹⁾. Вторая пара лепешек оставляется на 27 суток в воде.

¹⁾ Для этого шарики и лепешки кладут на 2 полки таганчика, который ставят в водяную баню так, чтобы один шарик и одна лепешка находились в воде, а другие над уровнем воды. Затем воду доводят до кипения. Через 4 часа нагревание прекращают, после чего образцы охлаждаются в бане до следующего дня.

Цемент признается недоброкачественным, если на лепешках обнаруживаются заметные на глаз искривления или радиальные трещины, что указывает на неравномерность изменения объема.

Появляющиеся иногда трещины усыхания, обычно около середины, и не доходящие до краев лепешек, не являются признаком недоброкачественности цемента.

При производстве пробы кипячением необходимо следить за тем, чтобы нижние шарик и лепешка были постоянно в кипящей воде, а верхний шарик и лепешка в парах кипящей воды.

Стеклянные пластинки, на которых приготавливаются лепешки, рекомендуется покрывать влажной пропускной бумагой.

д) Определение тонкости помола. Тонкость помола определяется путем просеивания навески в 100 г портланд-цемента через сита в 900 отв./см² и 4900 отв./см². Нормы требуют, чтобы на сите в 900 отв./см² оставалось не более 2% и проходило через сито в 4900 отв./см² не менее 75% от веса цемента.

3. Испытание механических свойств портланд-цемента.

На растяжение испытываются образцы в форме восьмерки, с площадью сечения в самом узком месте в 5 см². Испытание на растяжение производится, как образцов из чистого цементного теста, так и из раствора с песком. Образцы из чистого теста приготавливаются при содержании воды, соответствующем нормальной консистенции. В качестве песка для раствора нормами рекомендуется употреблять естественный кварцевый песок из карьера Вольского завода (Вольский песок). Нормальным песком считается песок, прошедший через сито в 64 отв./см² и оставшийся в сите в 144 отв./см². Образцы с песком приготавливаются в пропорции: 1 часть цемента и 3 части нормального песка (по весу) с нормальным количеством воды, при чем нормальным содержанием воды называется такое процентное содержание от веса сухой смеси, при котором после нормального трамбования на копре Клебе, Лахтина и др. выступает на поверхности образца вода. Нормальное трамбование—1 кг.м работы на 10 г сухой смеси.

Испытание производится на рычажном приборе Михаэлиса.

Испытание на сжатие производится над кубиками из раствора 1:3 с нормальным Вольским песком нормальной густоты. Работа трамбования 1 кг.м работы на 10 г сухой смеси. Образцы на сжатие—кубики с размерами в стороне 7,07 см с площадью грани в 50 см². Испытание производится на прессе.

Основной характеристикой механических свойств портланд-цемента, с которой связывается и прочность, изготовленного из него бетона, является временное сопротивление сжатию раствора 1:3 с нормальным песком.

Величину временного сопротивления сжатию упомянутого раствора в 28 дн. возрасте принято называть активностью цемента.

Определение активности цемента испытанием на сжатие кубиков раствора требует, как указано выше, наличия оборудования для изготовления образцов (копровые приборы и т. д.) и пресса для их испытания. Подобное оборудование в большинстве случаев отсутствует на строительстве и, следовательно, в целях учащенного контроля за качеством цемента и проектирования составов бетона желательно применение в некоторых случаях упрощенного способа определения механических свойств портланд-цемента.

Выработанной в настоящее время Союзстроем ВСНХ "Инструкцией по контролю над качеством бетона на производстве" рекомендуется определение активности цемента приближенным способом по временному сопротивлению перелому цементных балочек из пластичного раствора пропорции 1:3 по весу с песком нормальной крупности.

Для этого надлежит иметь разбортные металлические формы с внутренними размерами $250 \times 40 \times 40$ мм.

Раствор изготавливается с 60% воды от веса цемента. Смесь цемента и песка сначала перемешивается всухую и затем после прилития воды перемешивается тщательно еще в течение 5 минут, после чего укладывается в формы, внутренние поверхности которых предварительно смазываются машинным маслом.

При укладке раствора в формы раствор уминается пальцами, а по наполнении формы потряхиваются о край стола для удаления из раствора воздуха. Затем поверхность образцов сглаживается смоченным водою ножом и они в формах помещаются под остекленный колпак с влажным пространством (под колпак устанавливается сосуд с водой или смоченная вата) на 24 часа, после чего их освобождают из форм и перекладывают в ванны с водою до испытания.

Испытание производится либо на специальном приборе, либо на рычажном приборе Михаэлиса (для разрыва восьмерок), для чего необходимо иметь у последнего соответствующее приспособление.

При размерах балочек $250 \times 40 \times 40$ мм, схема испытания следующая: балочка укладывается на две опоры, отстоящими одна от другой на расстоянии $l = 200$ мм, боковой поверхностью. Действующий груз прикладывается посредине пролета балочек.

Временное сопротивление перелому подсчитывается по формуле:

$$R = \frac{Pl}{4W}.$$

При $l = 20$ см и поперечных размерах балочки

$$a = b = 4 \text{ см} \quad R = \frac{15}{32} P \text{ кг/см}^2,$$

где P — разрушающий груз в килограммах.

Количество образцов, испытываемых в одном возрасте, желательно готовить по 6.

За характеристику временного сопротивления перелому принимается среднее из 4 близких результатов испытаний балочек.

По сопротивлению перелому можно приблизительно подсчитать активность цемента умножением временного сопротивления перелому на коэффициент 10 для обыкновенных цементов.

Вообще же этот коэффициент перехода, в особенности при пользовании для испытания на перелом песком местного происхождения, желательно устанавливать предварительным опытом.

Для этого необходимо отобрать пробу цемента и половину ее отослать в лабораторию для нормального испытания, а вторую половину испытать на месте по вышеуказанному в балочках на перелом.

Сопоставив лабораторное определение активности цемента с определением сопротивления балочек перелому на строительстве, определяют коэффициент перехода от перелома к сжатию, которым при дальнейшем контроле качества цемента и пользуются.

Подобный опыт желательно производить раза 2—3 в течение строительного сезона даже при применении одного и того же сорта цемента и во всяком случае повторить при резком изменении качества цемента.

Влияние качества воды на свойства бетона.

Вода является важнейшей составной частью бетона. Вступая в химическое взаимодействие с цементом, вода обуславливает процессы схватывания и твердения бетона.

Очевидно, что качество воды, вошедшей в состав бетона, имеет влияние на его свойства.

Вода применяемая для приготовления бетона, должна быть чистой и не содержать в себе примесей, вредно действующих на бетон. В качестве водной добавки в бетон может быть применяема водопроводная вода и чистая речная, озерная или вода из колодцев.

Минеральные, сернистые, загрязненные фабричные воды обыкновенно являются негодными для бетонных работ.

Степень пригодности жестких вод зависит от рода и количества веществ, определяющих жесткость. Воды, содержащие хлористый магний или сернокислую магнезию, негодны для бетонных работ.

Жесткая вода, содержащая гипс, замедляет схватывание цемента. Содержащаяся в воде углекислая известь вообще может быть признана безвредной.

Воды болотные, торфяные, содержащие органические вещества, непригодны для бетонных работ. По германским нормам содержание SO_2 в воде не должно превышать 0,3% по весу.

Окружающая бетонное сооружение вода (грунтовая, морская, озерная и т. д.) в различного рода подземных и подводных сооружениях может также оказать вредное действие на него, если она содержит примеси, влияющие на процесс твердения. В общем, бетон может быть устойчив только в том случае, если окружающая его вода насыщена теми веществами, из которых состоит отвердевший цемент. В противном случае происходит растворение составных частей цемента в воде и нарушение его прочности.

В этом отношении вредной оказывается и вода весьма чистая, содержащая в себе весьма малое количество посторонних примесей (почти дистиллированная), так как, проникая в бетон, она интенсивно растворяет в себе выделяющуюся при твердении свободную известь и выщелачивает ее. В таких случаях на поверхности сооружений можно наблюдать белые налеты и потеки. Масса же бетона оказывается в той или иной степени разрыхлена, а в некоторых случаях и совершенно разрушенной.

Выщелачивание извести рекомендуется устранять добавкой в цемент пуццоланы или трасса (или применять пуццолановые или трассовые цементы).

Кислоты, растворенные в воде в небольшом даже количестве, при непрерывном их возобновлении действуют в большинстве случаев весьма разрушительно на цементные растворы и бетон.

При составлении проекта и до приступа к бетонным работам необходимо произвести исследование вод, могущих воздействовать в дальнейшем на бетон.

В качестве предварительной, грубой пробы, можно произвести анализ воды при помощи лакмусовой бумажки. Окрашивание ее в красящий цвет укажет на кислотный характер грунтовых вод и потребует более детального анализа.

В сомнительных случаях производится испытание нормальных образцов состава 1:3, изготовленных с испытуемой водой, параллельно с образцами, затворенными на чистой воде.

В качестве инертных (отошающих) составных частей бетона обычно применяют: а) щебень, гравий, гальку (крупные добавки) и б) песок (мелкая добавка).

При этом песком или мелкой добавкой называется материал, проходящий через сито с круглыми отверстиями диаметром в 7 мм или, соответственно, с квадратными отверстиями со стороной квадрата в 5 мм в свету.

Более крупный материал называется камневидной или крупной добавкой.

Для бетонных работ могут быть применены песок и гравий как овражные, так и речные или морские. Применяется также песок искусственный, получаемый дроблением искусственных или естественных камней.

Одним из основных общих требований, предъявляемых инертным материалам, идущим в бетон, является их чистота.

1. Инертные материалы не должны содержать значительного содержания глинистых, илистых и землистых примесей.

Содержание глины в песке допускается в количестве не свыше 2% по весу, общее же содержание глинистых, илистых и землистых частиц допускается не свыше 5% по весу для песка и не свыше 1% по весу для камневидных добавок (гравия).

В случае содержания механических примесей выше указанных пределов, материалы должны быть перед употреблением в дело освобождены от таких.

Общее содержание глинистых, пылевидных и землистых частиц может быть определено при помощи отмучивания средней пробы материала. Содержание же глины в песке может быть установлено методом „разбухания“ песка.

Приведем простейшие методы определения степени загрязнения инертных материалов глинистыми примесями.

а) Определение общего содержания примесей отмучиванием. Средняя проба песка отвешивается в количестве 1000 г с точностью до 1 г и помещается в стеклянный сосуд емкостью около 5 л. Затем в сосуд вливается вода и песок тщательно перемешивается. Дав осесть крупным тяжелым частицам песка, воду, со взвешенной в ней мутью, осторожно сливают через край. Затем в сосуд вновь наливается чистая вода, проба перемешивается вновь и, после того как осядет песок, мутная вода сливается. Эта операция повторяется до тех пор, пока, после заливки водой и перемешивания в ней песка, вода не окажется совсем чистой и прозрачной. Это показывает, что илистые и глинистые частицы вымыты из песка.

Затем вода осторожно сливается из сосуда. Из песка удаляется влага просушиванием его при температуре около 100—120°C и затем проба вновь взвешивается.

Разность весов пробы до и после отмучивания, отнесенная к первоначальному весу, даст потерю в весе при отмучивании.

Если первоначальный вес пробы был 1000 г, а вес после отмучивания стал „а“ г, то потеря в весе при отмучивании, выраженная в процентах, будет:

$$n = \frac{1000 - a}{1000} 100 = 100 - \frac{a}{10} \%$$

Аналогичным способом могут быть испытаны и крупные инертные добавки. В этом случае необходимо лишь увеличить испытываемую пробу не менее, как до 5 кг.

б) Определение содержания глины в песке методом разбухания.¹

Определение производится в мензурке емкостью в 25 см³ с делениями через 0,5 см³. Песок высушивается, растирается и всыпается в мензурку до уровня в 10 см³. При всыпании производится уплотнение легким постукиванием, так что уровень в 10 см³ относится к уплотненному песку. Затем до уровня в 23 см³ песок заливается водою и до уровня в 25 см³ доливается 5% раствор хлористого кальция (для осаждения мути).

Смесь взбалтывается и оставляется в покое на 3 часа, после чего определяется в процентах приращение объема (по отношению к первоначальному).

По данным инж. Б. Г. Скрамтаева (Госуд. Инст. Сооруж., Харьковское Отделение), содержанию глины в 2% соответствует разбухание в 4% от первоначального объема. Вообще же процентное содержание глины по весу может быть подсчитано по формуле:

$$x = 0,5 v,$$

где v — приращение объема в процентах.

2. Инертным материалам, входящим в состав растворов и бетонов предъявляется также требование, чтобы они не содержали в себе органических примесей.

Опыты, произведенные в Америке, показали, что содержание в песке даже 0,001 по весу органических примесей может вызвать снижение прочности бетона на 25%.

К такому же выводу пришел и профессор Свенсон из Высшей Технической Школы в Копенгагене, исследовавший пески, загрязненные органическими примесями.

Из органических примесей в естественных песках и гравии чаще всего встречаются гумусовые вещества, представляющие продукты разложения растительных и животных организмов.

Подобные опыты над песками, зараженными органическими примесями (гумусом), были произведены Лабораторией Испытания Материалов Норвежской Высшей Технической Школы².

Опыты дали возможность сделать следующие основные заключения:

- а) применение песка, содержащего гумусовые вещества, вызывает значительное уменьшение прочности сравнительно с чистым песком, при чем это уменьшение тем более, чем менее жирен и моложе раствор или бетон;

- б) качество песка улучшается при свободном доступе сухого воздуха;
- в) промывка песка водою мало целесообразна, так как гумусовые кислоты мало растворимы и не отмываются от песка;

- г) лучшее действие оказывает промывка песка известковым молоком или добавка в цемент извести (замена 5% цемента известью).

В связи с широким развитием применения в последнее время литого бетона, надлежащее изготовление которого требует непрерывного контроля, появились простейшие методы определения степени загрязнения инертных материалов органическими примесями.

Простейший и наиболее удобный для работы в полевой обстановке метод определения выработан профессором Абрамсом совместно с химиком Гардером.

¹ Предложен инж. Б. Г. Скрамтаевым (Харьковск. Отд. Госуд. Инст. Сооруж.), см. „Строит. Промышл.“ за 1929 г. № 10.

² Kleinlogel. „Einflüsse auf Beton“.

Метод этот известен у нас под названием „колориметрического“.

Метод заключается в следующем: мензурку, емкостью в 250 см³, наполняют до уровня в 130 см³ испытуемым песком или гравием и доливают затем до уровня в 200 см³ 3%-ым раствором едкого натра (NaOH). После энергичного встряхивания пробу оставляют в покое на 24 часа. По степени окраски раствора делается заключение о степени годности песка, соответственно следующей таблице II:

ТАБЛИЦА II

Проба	О к р а с к а	К а ч е с т в о
A	От прозрачной до светло-желтой.	Пригоден для бетона в ответственных сооружениях.
B	Ярко желтая.	Пригоден.
C	Желто-красная.	Пригоден при малом допуске напряжении.
D	Коричнево-красная светлая.	Не пригоден.
E	Коричнево-красная темная.	Не пригоден.

Это простое испытание дает возможность определить в кратчайший срок степень загрязнения материалов, тогда как по внешнему виду песка или гравия ни в коем случае нельзя судить о заражении его гумусом.

Рекомендуется такое же испытание производить и над промытым песком, если промывка применяется, чтобы иметь возможность определить, уменьшилось ли количество примесей до допустимого предела.

Колориметрический метод введен в настоящее время в американские нормы, при чем, кроме того, выработан эталон предельной окраски раствора, получающийся при обработке инертных материалов колориметрическим методом.

Эталон изготавливается следующим образом:

2%-й раствор танина готовится в 10%-м растворе алкоголя. Изготовленный таким образом раствор берется в количестве 2½ куб. см на 22½ куб. см 3%-го раствора едкого натра (NaOH). Полученную смесь через 24 часа разбавляют водой в количестве 25 куб. см.

Окраска полученной таким образом смеси является по американским нормам предельной. Материал, который при обработке его колориметрическим методом дает окраску не темнее цвета эталона (цвет ярко-желтый), считается вполне пригодным для бетонных работ в отношении содержания вредных органических примесей.

В качестве иллюстрации влияния загрязнения песка органическими примесями на прочность раствора приведем результаты испытания трех песков, полученные в Механической Лаборатории им. проф. Н. А. Белелюбского ЛИИПС.

При испытании колориметрическим методом песок № 7 был отнесен к категории „А“, песок № 8—к категории „С“ и песок № 9—к категории „Е“.

ТАБЛИЦА III

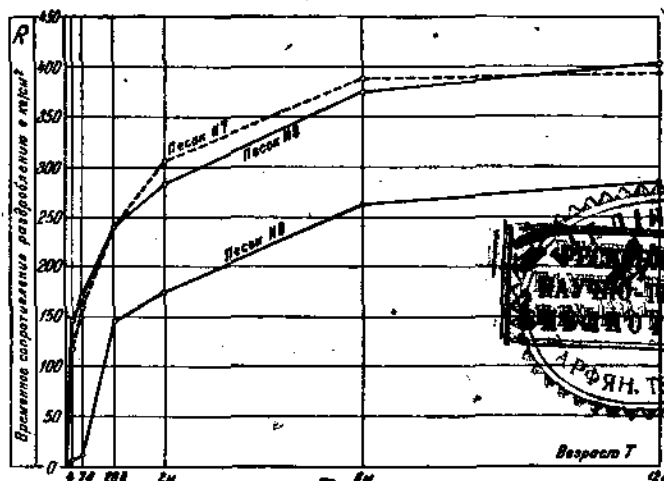
№№ образцов песка	$\frac{W}{C+n} \%$ по весу	РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ										Примечания		
		Временное сопротивление раздроблению в кг/см^2 в возрасте:					Временное сопротивление разрыву в кг/см^2 в возрасте:							
		4 дня	7 дн.	28 дн.	2 мес.	6 мес.	12 м.	4 дня	7 дн.	28 дн.	2 мес.		6 мес.	12 м.
7	8%	147	171	241	283	375	403	16,1	18,6	24,6	27,1	32,4	33,3	$\frac{W}{C+n} \%$ -- отношение количества воды к весу сухой смеси песка и цемента (нормальная консистенция). Испытанию подвергался раствор состава 1 : 3 по весу. Изготовление и хранение — нормальное.
8	9%	119	160	242	306	389	393	12,5	15,8	20,3	23,1	30,5	30,8	
9	10%	6,5	11	147	175	263	285	<0,5	0,7	13,7	14,0	17,5	18,5	

Результаты испытаний нанесены на графики на фиг. 3 и 4. На графиках по оси абсцисс отложен возраст образцов, а по оси ординат — временное сопротивление разрыву и раздроблению.

Данные этих опытов хорошо согласуются с опытами Свенсона.

Опыты показывают, что твердение растворов и бетонов, изготовленных с зараженным гумусом инертными, в первые сроки чрезвычайно замедляется и только через некоторый промежуток проявляется интенсивное нарастание прочности, которое далее переходит, по видимому, в нормальное увеличение прочности с течением времени.

Как известно, в процессе твердения цементных растворов образуются довольно значительные количества свободной извести, которая, в случае, если исключена возможность выщелачивания ее, кристаллизуясь, является основой механической прочности растворов и бетонов. Органические вещества требуют для нейтрализации их в первое время довольно значительные количества гидрата извести и тем самым замедляют процесс кристаллизации извести, нарушая нарастание прочности растворов.

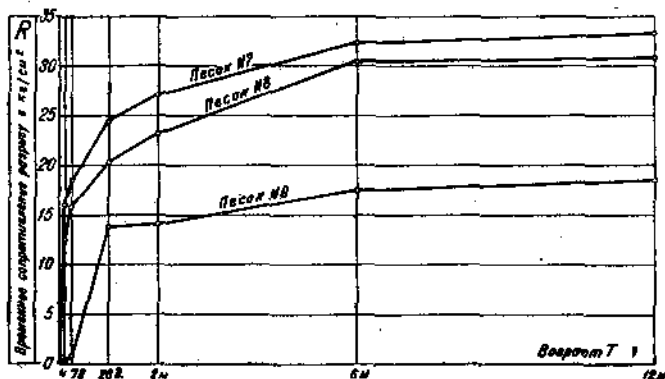


Фиг. 3.

Так как нейтрализация гумусовых кислот влечет за собою уменьшение общего количества прочной массы извести, то это обстоятельство ведет, повидимому, к окончательной потере некоторой доли прочности раствора или бетона, изготовленного с зараженными гумусом инертными материалами.

В приведенном выше примере для песка № 9 потеря в прочности может быть оценена в 30%.

Нейтрализация гумусовых кислот в растворе происходит действием на нее щелочи (гидрат окиси кальция). Следовательно, в первое время для ускорения этого процесса необходимо в растворе наличие влаги.



Фиг. 4.

Экспериментальном Институте Силикатов, показывают, что не все органические кислоты одинаково вредно действуют на цемент. Кроме того окраска раствора при испытании песка может быть вызвана какими-либо безвредными для цемента красящими веществами, находящимися в песке.

Поэтому в особо сомнительных случаях окончательным суждением о механических качествах песка может быть испытание его в растворе, преимущественно в молодом возрасте.

Характеристики физических свойств инертных материалов.

Качество и свойства бетона, как в процессе его изготовления, так и при твердении, зависят в большей или меньшей степени от физических свойств инертных материалов, входящих в состав бетона.

Характеристики физических свойств инертных материалов принято выражать в той или иной математической форме для того, чтобы иметь возможность объективно судить о качествах бетона в зависимости от свойств инертных и чтобы иметь возможность, имея последние зависимости, сравнивать между собою разные сорта инертных добавок.

В качестве общих характеристик отдельных зерен инертных добавок являются: 1) величина зерен и их поверхности, 2) форма зерен, 3) свойства поверхности, 4) прочность и 5) удельный вес.

Соответственно и для инертных добавок, представляющих собою смесь отдельных зерен различной крупности, характеристиками могут явиться:

1) состав зерен по крупностям или так называемый гранулометрический состав, 2) форма зерен, 3) свойства их поверхности, 4) объемный вес, 5) удельный вес и 6) прочность.

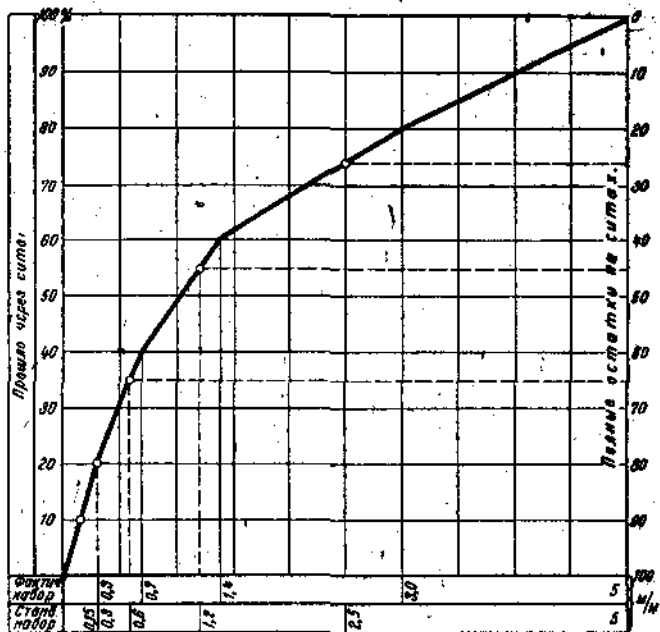
Гранулометрический состав. Важнейшей из характеристик инертных добавок является их состав по крупностям зерен, т.е. гранулометрический состав.

Определение гранулометрического состава инертных веществ производится путем разделения их на фракции по крупностям при помощи набора сит с отверстиями различной величины.

Результаты ситового анализа могут быть представлены графически, если на графике по оси абсцисс отложить размеры отверстий сит, а по оси ординат — весовое содержание в пробе инертной добавки зерен, прошедших через данное сито и выраженное в процентах от веса пробы (см. фиг. 5).

Очевидно, что наилучшим соотношением крупностей в инертных материалах следует признать такое, которое дает наиболее плотную смесь и дает минимум в отношении расхода цемента на кубометр бетона при всех прочих равных условиях.

Цемент и вода представляют собою ту среду, в которой находятся зерна инертных в свежем приготовленном бетоне (жирный состав; в более тонких составах в бетоне еще имеется довольно значительное количество воздушных пор). Таким образом, цемент вместе с водой, во первых, заполняют промежутки между отдельными зернами инертных и, во вторых, покрывают зерна добавок слоем некоторой толщины. Очевидно, что минимум расхода цемента и воды будет при таком гранулометрическом составе инертных добавок,



Фиг. 5.

который обладает одновременно и минимумом количества пустот в единице объема инертных и минимумом их поверхности. Но эти два требования противоречат одно другому, так как гранулометрический состав, обладающий минимумом пустот в единице объема, не дает в то же время минимума суммарной поверхности зерен.

Повидимому, наивыгоднейший состав инертных должен находиться между этими двумя пределами. Ряд исследователей, занимавшихся вопросом об определении наивыгоднейшего состава инертных добавок, дали выражение для так называемой „идеальной кривой просеивания“. Из них лучше всего для инертных материалов, употребляющихся в литом бетоне, подходит идеальная кривая Фуллера¹⁾.

Опыт последних лет показывает, однако, что кривая Фуллера дает при литом бетоне слишком гравелистую смесь и в настоящее время считают более подходящей смесь инертных, кривая просеивания которой лежит несколько выше Фуллеровской кривой.

¹ См. Беляев Н. М., проф. „Метод подбора состава бетона“. Вып. № 1 Инст. Бетонов. Ленинград. 1930 г.

В случае, если кривая просеивания материалов, имеющихся в наличии, не удовлетворяет идеальным кривым просеивания и сильно от них отступает, рекомендуется в смесь инертных вводить дополнительно фракция зерен таких крупностей, которые исправили бы смесь и приблизили бы состав ее к „идеальному“.

Практически гранулометрический состав инертных добавок может быть признан удовлетворительным, если ситовой анализ их находится в пределах, приведенных в таблицах IV и V.

Границы удовлетворительного гранулометрического состава добавок:

ТАБЛИЦА IV.

Песок.

Отверстия сит в свету в мил- лиметрах	Должно проходить через сито, в процентах по весу	
	От	До
10	—	100
5	85	100
1,2	45	80
0,3	2	30
0,15	0	5

ТАБЛИЦА V.

Камневидная добавка.

Отверстия сит в свету	Должно проходить через сито, в процентах по весу	
	Не менее	Не более
Сито, соответ- ствующее наи- большему раз- меру зерен — D_{max}	95	—
$0,5 \cdot D_{max}$	40	75
5 мм	—	10

Проф. Абрамсом в исследованиях качеств инертных добавок и влияния их на свойства бетона введена характеристика инертных добавок, позволяющая сравнивать инертные материалы и оценивать их влияния на качества бетона, называемая у нас „модулем крупности“ или гранулометрическим модулем.

Характеристика крупности инертных материалов в виде гранулометрического модуля может быть численно введена в расчеты, а кроме того, в случае, когда, в силу экономических соображений, затруднительно достижение идеальной кривой просеивания для естественных материалов, неудовлетворительных в этом отношении, путем их „исправления“, модуль крупности дает возможность сравнить имеющиеся в наличии естественные инертные материалы.

Для определения модуля крупности применяется стандартный набор сит, размеры отверстий которых находятся в геометрической прогрессии, а именно:

ТАБЛИЦА VI.

№ № с и т	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Размеры отверстий в свету (в миллимет- рах)	0,15	0,30	0,60	1,2	2,5	5,0	10,0	20,0	40,0	80,0

Определение модуля крупности производится путем просеивания через весь набор сит пробы сухого инертного материала. Для просеивания берется средняя проба материала в количестве

песок не менее 1 кг
гравий или щебень. не менее 10 кг

Перед просеиванием проба взвешивается и затем пропускается через самое крупное сито, на котором еще может быть остаток. Материал, прошедший через это сито, пропускается через следующее сито и т. д. Остатки на каждом сите взвешиваются. Сумма полных остатков на всех ситах, деленная на 100, и называется „модулем крупности“.

Часть материала, прошедшая через сито № 1 (отв. 0,15 мм), в подсчет модуля крупности не вводится.

В таблице VII приведено несколько примеров определения модуля крупности.

В виде уравнения модуль крупности, очевидно, может быть выражен следующим образом:

если обозначить частные остатки на ситах, выраженные в процентах через $P_1, P_2, P_3, \dots$, соответственно ситам № 1, № 2, № 3 . . . (или 0,15 мм, 0,30 мм, 0,60 мм . . .), то модуль крупности

$$M = 0,01 (P_1 + 2P_2 + 3P_3 + \dots).$$

В том случае, если в распоряжении не имеется стандартного набора сит, но имеются сита не вполне соответствующие стандарту, или в наборе сит, имеющемся в наличии, отсутствуют некоторые сита, можно поступить для подсчета модуля крупности следующим образом:

результаты ситового анализа, произведенного при помощи имеющихся сит наносятся на график в масштабе и с графика уже в расчет принимаются ординаты, соответствующие стандартным размерам, см. фиг. 5.

Например, в распоряжении имеются сита с отверстиями: 0,30 мм, 0,70 мм, 1,40 мм, 3,0 мм, 5,0 мм, 10 мм, 20 мм, 40 мм.

Произведя просеивание пробы песка при помощи данного набора сит, наносим результаты на график.

На графике, одновременно со шкалой фактического набора сит, наносим в том же масштабе шкалу стандартного набора.

Далее с графика берем уже полные остатки, соответствующие стандартному набору сит, и подсчитываем модуль крупности. Таким образом, для данного случая модуль крупности

$$M = 0,01 (26 + 45 + 65 + 80 + 90) = 3,06.$$

Согласно „Инструкции по контролю над качеством бетона в производстве работ ВСНХ СССР устанавливается нижший предел модуля крупности:

для песка	1,5
для гравия и щебня	6,0

Инертные составляющие, с модулями меньшими указанных, применять не рекомендуется.

Для того чтобы ситовой анализ являлся бы средним для данного материала, необходимо таковому подвергнуть, несколько проб, взятых из разных мест склада материала, и, во всяком случае, определений должно быть не меньше двух для каждого рода материала.

В расчет вводится среднее из всех проб.

Можно рекомендовать следующий прием для отбора средней пробы: из нескольких мест склада (по крайней мере, из 3—4) отбирается по 20—25 кг материала. Отобранные пробы перемешиваются и рассыпаются на брезенте слоем в 7—10 см. Затем рассыпанный таким образом материал делится на 4 квадранта по двум взаимноперпендикулярным направлениям, из которых два противоположных удаляются, а оставший материал вновь перемешивается и делится таким же способом на части, из

ТАБЛИЦА VII

Размеры отверстий сит в мм	40	20	10	5	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15	Проше 0,15	Рас- труска	Модуль крупности
1. Песок. Навеска 1.000 г												
Остатки в г	—	—	—	20	190	330	260	120	60	15	5	
„ „ процентах	—	—	—	2,0	19,0	33,0	26,0	12,0	6,0	1,5	0,5	
Полн. ост. в процентах . .	—	—	—	2,0	21,0	54,0	80,0	92,0	98,0	—	—	3,47 ≈ 3,5
2. Гравий. Навеска 10.000 г												
Остатки в г	—	4.200	3.600	1.100	500	300	150	50	50	20	20	
„ „ процентах	—	42,0	36,0	11,0	5,0	3,0	1,5	0,5	0,5	0,2	0,2	
Полн. ост. в процентах . .	—	42,0	78,0	99,0	94,0	97,0	98,5	99,0	99,5	—	—	6,97 ≈ 7,0
3. Щебень. Навеска 10.000 г												
Остатки в г	2.800	4.750	2.100	350	—	—	—	—	—	—	—	
„ „ процентах	28,0	47,5	21,0	3,5	—	—	—	—	—	—	—	
Полн. ост. в процентах . .	28,0	75,5	96,5	100	100	100	100	100	100	—	—	8,00

которых опять две противоположные доли удаляются. Эта операция повторяется до тех пор, пока не останется проба материала в необходимом количестве.

Надо отметить, что модуль крупности не вполне достаточно характеризует гранулометрический состав инертных добавок. Можно легко представить два рода инертных материалов, имеющих одинаковый модуль крупности, но отличающиеся гранулометрические составы.

Для сравнения таких материалов в отношении выгодности их применения необходимо иметь в виду еще следующие дополнительные условия.

Первым из них является требование, чтобы кривая просеивания имела плавно изменяющееся очертание и по возможности приближалась к типу „идеальной кривой“.

Вторым признаком лучшего качества инертных добавок является меньшая суммарная поверхность зерен в единице веса материала, которую американские исследователи называют „модулем поверхности“.

Определение суммарной поверхности зерен инертных в единице их веса приблизительно можно произвести на основании следующих соображений:

если предположить, что все зерна имеют форму шара, то, обозначив через d — диаметр зерен какой-либо фракции в мм, найдем, что 1 кг данного материала состоит из числа зерен

$$n = \frac{1}{\gamma \frac{\pi d^3}{6}} = \frac{6}{\gamma \pi d^3},$$

где γ — удельный вес материала.

Поверхность каждого зерна, в предположении сферической формы, равна $S = \pi d^2$, а поверхность всех зерен, составляющих вес в 1 кг,

$$S = \frac{6}{\gamma \pi d^3} \pi d^2 = \frac{6}{\gamma d} \text{ м}^2/\text{кг}$$

Легко доказать, что, предположив форму зерен вместо шаровой в виде куба, для суммарной поверхности зерен, заключающихся в 1 кг, получим то же самое выражение, где d уже будет обозначать размер стороны куба.¹

Исходя из найденного для S выражения, видно, что суммарная поверхность зерен в единице веса обратно пропорциональна размерам зерен. Следовательно, для смеси зерен различной величины, разделенных на фракции стандартным набором сит, размеры которых находятся в геометрической прогрессии:

$$a, 2a, 4a, 8a, \dots, \text{ где}$$

a — величина отверстия самого мелкого сита (в полном стандарте — $a = 0,15$ мм), суммарная поверхность зерен в 1 кг смеси может быть выражена уравнением:²

$$S = S' \left(P_1 + \frac{P_2}{2} + \frac{P_3}{4} + \frac{P_4}{8} + \frac{P_5}{64} + \dots \right).$$

Здесь через S' — обозначена поверхность зерен размерами a в 1 кг веса, а через $P_1, P_2, P_3, \dots$ — частные остатки на ситах с отверстиями: $a, 2a, 4a, \dots$

¹ Гайз — Литой бетон и его применение в строительстве.

² A. Talbot and F. Richart. — The strength of concrete its relation the cement aggregates and water. University of Illinois Bulletin, 1923.

Таким образом, пользуясь коэффициентом.

$$\alpha = (P_1 + \frac{P_2}{2} + \frac{P_3}{4} \dots),$$

входящим в предыдущее уравнение, можно оценить величину поверхности зерен в единице веса материала.

Наконец, третьим признаком лучшего качества инертных материалов является меньшее количество пустот в единице объема.

Если обозначить объемный вес сухого материала в каком-либо определенном состоянии через $P_{кг/л}$, а удельный вес его через γ , то объем пустот, выраженный в процентах, будет:

$$v = \left(1 - \frac{P}{\gamma}\right) 100.$$

Таким образом, ориентируясь преимущественно в выборе инертных добавок на их модуль крупности, более полное их сравнение может быть произведено при учете последних трех дополнительных характеристик.

Для сравнения качества песков можно рекомендовать определение коэффициента инж. Б. Г. Скрамтаева, связывающего модуль крупности с объемом пустот:¹

$$K = M(50 - v).$$

Здесь M — модуль крупности песка

v — объем пустот, выраженный в процентах.

Чем больше значение коэффициента K , тем выше качество песка.

Форма зерен и свойства их поверхности.

В отношении формы зерен и свойства их поверхности, к сожалению, не может быть предложено никакой, численно выражающейся характеристики.

В то же время эти факторы также сказываются на свойствах бетона, в особенности, как увидим далее, они оказывают влияние на степень пластичности и удобообрабатываемости. Поэтому форму зерен приходится характеризовать несколько субъективным описательным методом.

По форме зерна инертных можно подразделить на округленные, угловатые, плоские. Поверхность может быть охарактеризована как шероховатая, гладкая, полированная.

Удельный вес. Удельный вес материала может быть определен в мензурке емкостью в 1.000 г. В градуированную мензурку наливается до некоторого уровня вода комнатной температуры и в нее погружается определенная навеска материала, например, 500—600 г. Вес погруженного в воду материала, деленный на вытесненный объем воды, даст удельный вес материала. Мелкий материал (песок) желательно определять при помощи колбы Лешателье (см. испытание цемента).

Стандартное состояние материала. Дозировка материалов при изготовлении бетона производится, обыкновенно, по объему и материал идет в том „рабочем“ или „естественном“ состоянии, в котором он в данный момент находится.

Однако, известно, что в зависимости от состояния влажности сыпучего материала он занимает тот или иной объем, и эти колебания тем больше, чем более мелок материал. Для песка, например, при влажности

¹ Строит. Промышл., 1929 г., № 11.

около 5%, по весу увеличение объема, по сравнению с объемом, который занимает будучи сухим, достигает 30 — 40%, а иногда и более. Приведем для примера кривую разбухания песка в зависимости от состояния влажности, полученную в Механической Лаборатории ЛИИПС (фиг. 6).

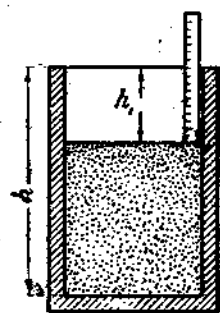
Таким образом, рабочие составы, подразумевающие отмеривание материалов в естественном состоянии, не могут быть устанавливаемы, например, на весь строительный сезон одними и теми же, ибо в таком случае, в зависимости от состояния влажности инертных, в бетон будут вводиться большие или меньшие реальные количества материала.

Поэтому в современную методику выбора состава бетона введено понятие о стандартном состоянии инертных материалов.

За стандартное состояние материала может быть принято состояние, которое он принимает, будучи высушен до постоянного веса и уложен в мерный ящик рыхло совком. При этом сыпание с совка должно производиться свободно, без встряхивания мерного ящика, с высоты около 5 см над верхом ящика. Все расчеты составов бетона

должны быть отнесены к такому теоретическому, вполне определенному, состоянию материала. Для того чтобы иметь возможность дозировать материалы в естественном состоянии их, необходимо установить переход от состояния стандартного к состоянию естественному.

Если мы наполним мерный ящик, высота которого h , материалом в естественном состоянии без уплотнения и избыток материала срежем линейкой вровень с краями, а затем, высушив отмеренное количество материала, уложим его в тот же самый мерный ящик, то он займет уже меньший объем, и поверхность занимаемого им объема будет уже на уровне $(h-h_1)$. (См. фиг. 7).



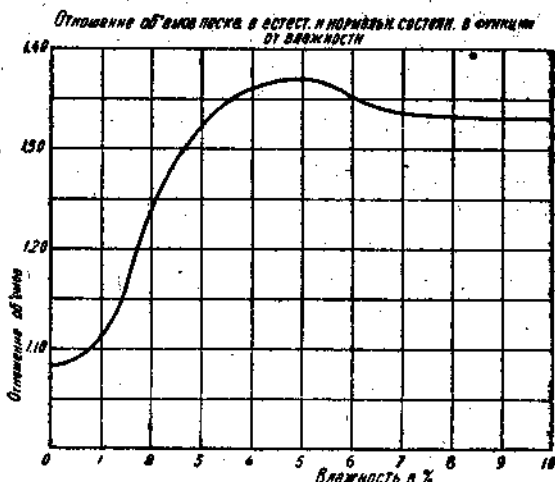
Фиг. 7.

Очевидно, что отношение объема, занимаемого данным количеством материала в естественном состоянии к объему, который он занимает в стандартном состоянии, равно

$$\alpha = \frac{h}{h-h_1}.$$

Определение переходного коэффициента может быть произведено и несколько иным способом, при чем сущность остается та же. В мерный ящик рыхло (без уплотнения), вровень с краями, насыщается материал в естественном состоянии. Излишек срезается линейкой. Затем определяется вес насыпанного в мерку материала. Пусть вес его P_1 . Далее этот материал высушивается до постоянного веса и затем взвешивается. Пусть теперь его вес P_2 .

Очевидно, если материал был влажный, то разность (P_1-P_2) даст количество влаги в единицах веса, а отношение $\beta = \frac{P_1-P_2}{P_2} 100$ — влажность по



Фиг. 6.

весу, выраженную в процентах. Эта величина должна быть определяема и понадобится в дальнейшем. Затем высушенный материал укладывается в тот же мерный ящик стандартным способом. Так как высушенного материала для наполнения всей мерки недостаточно, то должна быть высушена параллельно дополнительная навеска материала. После того, как мерка наполнена вровень с краями стандартным способом сухим материалом, определяется его вес. Пусть вес его P_3 .

Очевидно, что отношение

$$\alpha = P_3 : P_2$$

и является переходным коэффициентом.

Мерный ящик может быть деревянный, кубической формы, размерами $20 \times 20 \times 20$ см (объем 8 л). Для материалов крупных желательно применять ящик размерами $30 \times 30 \times 30$ см.

Объемный вес. Вес единицы объема определяется параллельно с определением переходного коэффициента делением веса песка, уложенного в мерку, на объем ее.

II. ЗАВИСИМОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БЕТОНА.

Прочность бетона.

а) Зависимость временного сопротивления сжатию от водоцементного отношения (основная зависимость).

Большое число опытов, произведенных с бетоном за последнее десятилетие, показали, что важнейшую роль в процессе твердения бетона, в смысле приобретения известной прочности играет количество воды, вошедшей в состав бетона.

Известные опыты проф. Д. Абрамса (Америка), развитые проф. Графом, Пробстом (Германия), Беляевым (СССР) и рядом других исследователей доказывают это положение со всей очевидностью.

Американские опыты показали, что прочность бетона зависит почти исключительно от соотношения количества воды и цемента, содержащихся в бетоне при его изготовлении. Отношение количеств воды и цемента, входящих в состав бетона, названо „водоцементным отношением“. Проф. Абрамс, исследуя сопротивление сжатию бетона в функции от водоцементного отношения, нашел, что зависимость эта следует гиперболическому закону¹.

Зависимость прочности бетона от водоцементного отношения находит в настоящее время подтверждение и с точки зрения современной теории твердения цемента, предложенной проф. А. А. Байковым. Теория проф. Байкова подходит к объяснению различия в механической прочности цементных растворов, рассматривая физико-химические взаимоотношения воды и цемента.

Согласно указанной теории, приобретение цементом той или иной прочности при отвердевании может быть представлено схематически следующим образом.

При воздействии воды на цемент получаются два вещества: гидрат окиси кальция $Ca(OH)_2$ и гидрат силиката извести $(CaO \cdot SiO_2 \cdot 2.5 H_2O)$.

¹ Зависимость прочности растворов и бетонов от водоцементного отношения известна была и ранее. На V Конгрессе Международного Общества по испытанию строительных материалов, состоявшемся в 1909 году в Копенгагене, был заслушан соответствующий доклад проф. Константина Целинского (Будапешт), демонстрировавший рассматриваемый принцип. Однако вопрос рассматривался чисто теоретически и практического применения выводы в то время не нашли.

Первое вещество способно кристаллизоваться, второе нерастворимо в воде и выделяется в аморфном коллоидальном состоянии, так что отвердевшая масса цемента состоит из кристаллов гидрата окиси кальция и студня силиката извести.

Кристаллы гидрата окиси кальция обладают определенными физико-механическими свойствами, студень же, представляя систему мельчайших частиц вещества, распределенных в воде и механически с нею соединенную, может обладать весьма разнообразными механическими свойствами, в зависимости от соотношения количеств массы воды и массы вещества входящих в состав студня. Чем больше воды в составе студня тем более слабым он является.

В этом отношении, как видно из изложенного, имеется полная связь с результатами исследований зависимости прочности бетона Абрамса, о которых упомянуто выше¹.

Зависимости сопротивления бетона сжатию от водоцементного отношения, полученные экспериментальным путем, проф. Абрамс представил графически и дал ур-ия $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ этих кривых.

Механической Лабораторией на основании большого числа опытов за последние пять лет выработаны подобные зависимости для некоторых русских цементов.

На фиг. 8 представлена такая зависимость для бетона из обыкновенного портландцемента.

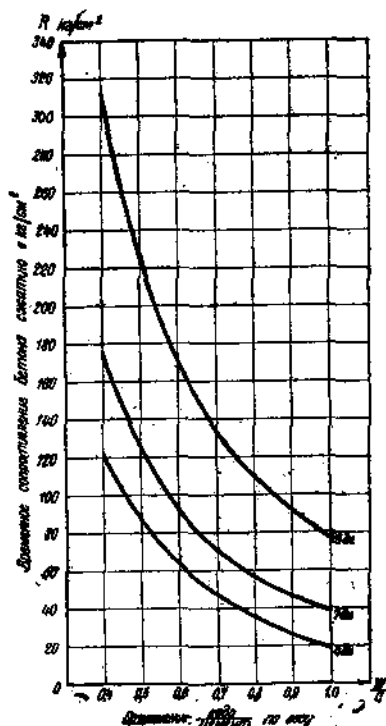
Изображенные на графике кривые соответствуют временному сопротивлению бетона сжатию (R) в зависимости от $\frac{w}{c}$ в возрасте 4, 7 и 28 дн.

б) Сопротивление бетона изгибу, разрыву и удару. Основной характеристикой прочности бетона является временное сопротивление сжатию, так как бетон лучше всего сопротивляется сжимающим усилиям, в соответствии с чем бетон в чистом виде и применяется преимущественно в конструкциях, подверженных сжимающим усилиям.

Однако, в некоторых случаях приходится считаться и с возможностью изгиба, растяжения бетона и ударного действия нагрузки на бетон.

Кроме того, в целях контроля качества бетона, как будет подробнее изложено ниже, целесообразным представляется знание законов, которым подчиняется сопротивление бетона некоторым из указанных действий нагрузки.

Изучение прочности бетона при изгибе, разрыве и ударном действии нагрузки привело к заключению, что и в этих случаях прочность бетона подчинена водоцементному отношению.



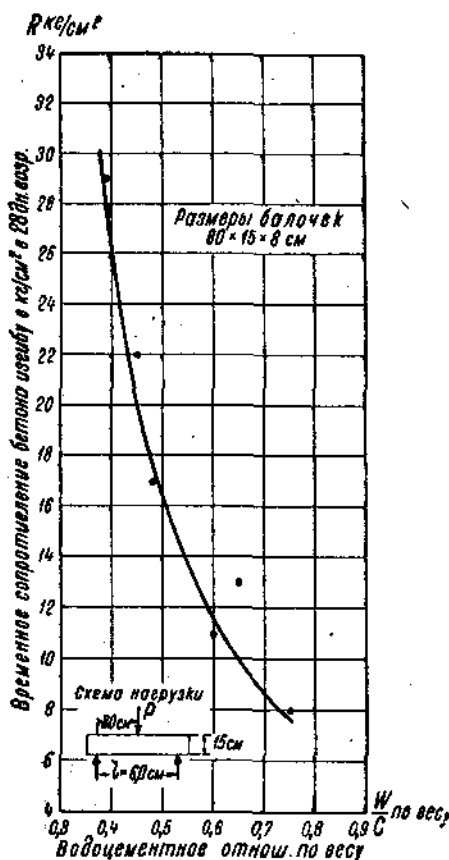
Фиг. 8.

¹ Проф. Байков так высказывается о связи теории твердения цемента с исследованиями Абрамса: „может быть имеет полное основание парадокс Абрамса что механическая прочность бетона зависит от количества воды и чем меньше воды, тем крепче будет бетон, потому что та вода, которая там будет предполагаться, идет на образование студня с меньшим содержанием воды. Если ее будет мало, студень будет беден водой, но механически будет очень прочным; если воды много, студень будет слабым, и бетон будет давать слабые механические свойства“. („Строительные материалы“. ОНТС в Ленинграде. Гостехиздат. 1931 г.).

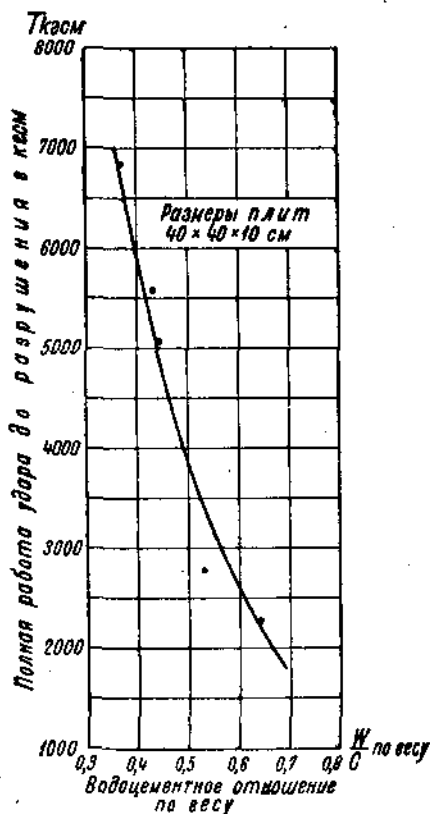
При этом характер зависимости совершенно аналогичен основной зависимости сопротивления сжатия от $\frac{W}{C}$.

На фиг. 9 приведен график зависимости временного сопротивления бетонных балочек от водоцементного фактора в 28 дн. возрасте, полученный в опытах Механической Лаборатории ЛИИПС.

Такого же рода кривые получены в той же Лаборатории и при испытании бетонных плит размерами $40 \times 40 \times 10$ см ударной нагрузкой. График на фиг. 10 представляет изменение сопротивления ударному действию нагрузки при увеличении водоцементного отношения в бетоне.



Фиг. 9.



Фиг. 10.

Сопоставление зависимостей сопротивления бетона изгибу и удару с сопротивлением сжатию показывает, что между ними существует связь и соотношение указанных характеристик прочности при данном цементе и всех прочих равных условиях, как показывает опыт, колеблется в сравнительно небольших пределах.

в) Влияние активности цемента. Очевидно, что качество бетона непосредственно связано с качеством цемента, входящего в его состав. Исследования показывают, что прочность бетона имеет связь с активностью или нормальным временным сопротивлением цемента при раздроблении. Активностью цемента, как указано уже выше, будем называть временное сопротивление образцов раст-

вора состава 1:3 по весу с нормальным Вольским песком при раздроблении через 28 дней после нормального изготовления и хранения их в воде.

Прочность бетона, примерно, прямо пропорциональна активности цемента.

Таким образом, если бетон, в состав которого введен цемент активностью R'_u , через 28 дней имеет прочность R_6 , то бетон точно такого же состава, но с цементом активностью R'_u , будет иметь прочность:

$$R'_6 = R_6 \frac{R'_u}{R_u}$$

Точно так же, если найдена зависимость

$$R_6 = f_1 \left(\frac{w}{c} \right)$$

при применении цемента активностью R'_u , то для бетона, изготовленного с цементом активности R'_u , с достаточной для практических целей степенью точности, может быть принята зависимость:

$$R'_6 = f_2 \left(\frac{w}{c} \right) = \frac{R'_u}{R_u} \cdot f_1 \left(\frac{w}{c} \right).$$

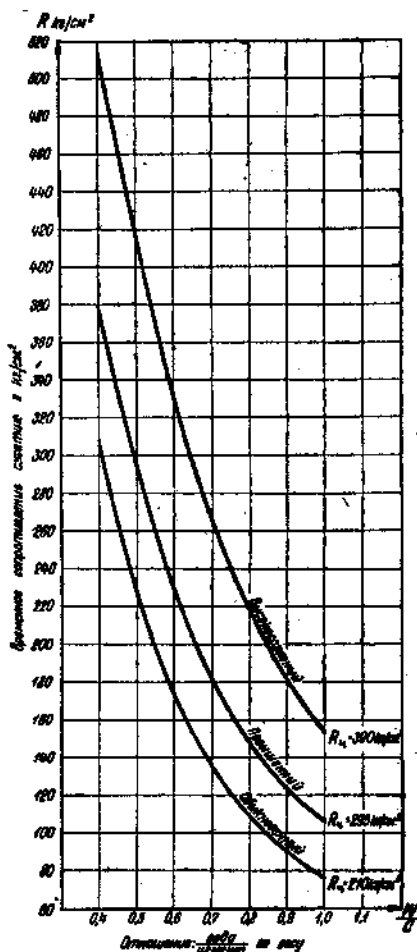
Из графика на фиг. 11, полученного Механической Лабораторией ЛИИПС из опытов с цементами нормального, повышенного качества и высокосортными видно, что соотношение временного сопротивления бетона сжатию, для разных по качеству цементов почти пропорционально активности цементов.

Приведенные кривые являются средними из опытов с бетоном из цементов указанных качеств.

Необходимо все же указать, что связь между R'_6 и R_6 , выраженная данной формулой, дает удовлетворительные результаты лишь в том случае, если активности цементов R_u и R'_u определены в совершенно одинаковых условиях. Поэтому желательно стремиться к тому, чтобы испытания обоих цементов производились одной и той же лабораторией, ибо известно, что расхождение в результатах испытания одного и того же цемента в различных лабораториях, в силу местных условий, могут достигать 15—30%.

Кроме того, при отборе проб цемента для определения активности его, необходимо принять меры к тому, чтобы проба отражала бы среднее качество цемента и не являлась случайной.

Замечено, что при небольшой разнице в активности цементов (напр. 200 и 220 кг/см²) не всегда наблюдается соответствующая пропорциональность между характеристиками прочности бетона даже при строгом проведении опытов. Объясняется это тем обстоятельством, что точность оценки активности цемента испытанием кубика состава 1:3 на сжатие не превосходит 10—15%.



Фиг. 11.

Поэтому учет влияния активности цемента на прочность бетона становится практически возможным по вышеуказанной формуле, очевидно, только в тех случаях, когда разница в активности цементов достигает, примерно, 15% и более.

г) Влияние соотношения количеств инертных материалов и цемента.

Опыты показывают, что прочность бетона в известных пределах не зависит от количества инертных добавок, входящих в состав его. При различных соотношениях количеств цемента и инертных материалов в пределах, указанных ниже, бетон будет одинаковой прочности, если будет постоянным водоцементное отношение, а также род и качество цемента и инертных материалов, способ и тщательность приготовления бетона и т. д.

Указанное свойство бетона сохраняется лишь при более или менее значительном содержании в нем цемента.

При низком содержании цемента, в так называемых тощих бетонах, в которых цементного теста недостаточно не только на обволакивание всех зерен инертных добавок, но даже на заполнение пустот между ними, влияние состава бетона или, что то же самое, содержание в нем цемента сказывается на прочности бетона и возрастает по мере уменьшения цемента в бетоне. Влияние же водоцементного фактора на прочность бетона при этом уменьшается.

Практически предельным минимальным содержанием цемента на кубометр бетона, до которого заметного влияния состава бетона на прочность его при указанных выше условиях не наблюдается можно считать 200—210 кг/м³.

д) Влияние крупности инертных добавок на прочность.

При построении экспериментальным путем основной зависимости $R=f\left(\frac{w}{c}\right)$ было установлено, что опытные точки располагаются на графике таким образом, что часть из них лежит выше приведенной кривой, часть ниже. Кривая $R=f\left(\frac{w}{c}\right)$ (черт. 8) представляет среднюю линию, от которой сумма отклонения опытных точек (как положительных, так и отрицательных отклонений) является наименьшей.

Отклонения точек от средней кривой, как правило, не превосходят обычно $\pm 15\%$ и зависят преимущественно от точности эксперимента (точность дозировки материалов, тщательность приготовления бетона, изготовления образцов, хранения и т. д.).

В то же время наблюдения показывают, что точки, характеризующие бетон с большим модулем крупности смеси инертных, т. е. с большим содержанием крупной инертной добавки, располагаются обычно выше средней кривой, с меньшим же модулем крупности смеси—ниже кривой.

Таким образом, можно отметить, что смеси с большим содержанием крупных инертных добавок, повидимому, имеют несколько большую прочность. Разница во временном сопротивлении бетона сжатия может достигнуть 10—15% при изменении содержания песка в смеси инертных в пределах от 25 до 50%.

При больших же изменениях в соотношении мелкой и крупной добавок возможно еще большее влияние модуля крупности смеси инертных на прочность бетона.

С другой стороны, увеличение в содержании смеси крупной добавки выше некоторого предела может повлечь за собою неудобство обработки бетонной массы. Об этом будет более подробно указано ниже. В общем

же следует стремиться, учитывая безусловно все вытекающие из этого обстоятельства (например, стоимость инертных материалов на куб. метр бетона) к возможно большему содержанию крупной инертной добавки в смеси бетона.

Консистенция бетона.

Под консистенцией бетона подразумевается степень пластичности бетонной массы при укладке его в формы.

Консистенция бетона зависит от водоцементного отношения ($\frac{w}{c}$), от состава бетона, гранулометрического состава инертных добавок, от формы и свойств поверхности зерен инертных добавок.

а) Способы определения консистенции и граница их применения.

Определение по осадке конуса.

Консистенция бетона может быть охарактеризована пробой на „осадку конуса“. Для этого опыта применяется форма из листового железа в виде усеченного конуса высотой 30 см (фиг. 12). Конус должен быть снабжен боковыми ручками. Внутренняя поверхность конуса должна быть совершенно гладкой. Загибов внутренних фасок у основания и по шву не должно быть.

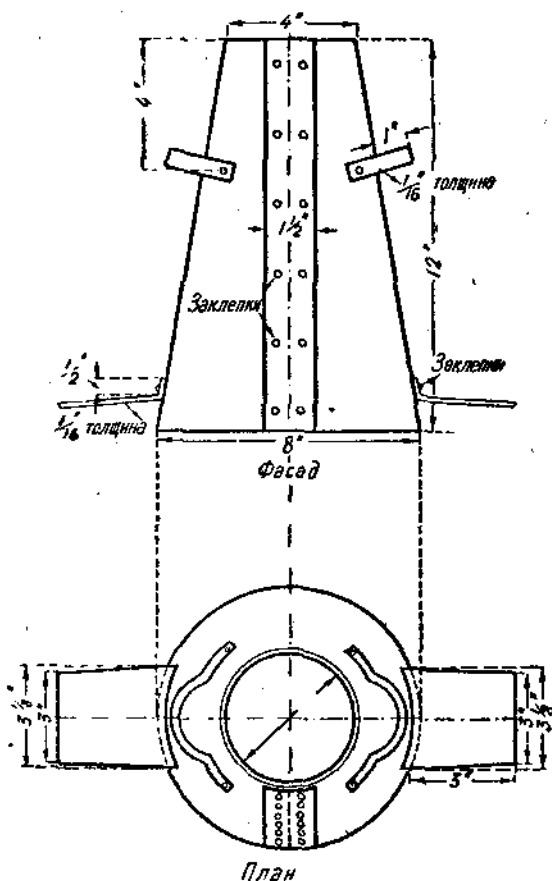
Наполнение конуса бетоном производится в три, равных по высоте, слоя, при чем каждый слой протыкается 25 раз круглым металлическим стержнем диаметром около 15 мм с округленным концом. Длина стержня должна быть не менее 50 см.

Протыкание массы стержнем производится нажимом руки без удара.

Конус должен быть установлен на гладкой металлической площадке, уложенной горизонтально, размерами около $50 \times 50 \times 0,5$ см.

После того как бетон уложен в форму и избыток срезан металлической линейкой вровень с краями, форма осторожно снимается. Поднятие формы должно производиться без перекосов, строго вертикально.

По снятии, форма осторожно устанавливается на площадку рядом с осевшей бетонной массой, на верхнее основание укладывается металлическая (или деревянная) линейка, от нижней поверхности которой и измеряется осадка бетонной массы. Измерение должно производиться по вертикальной оси бетонной массы с точностью до 1 см. Опыт повторяется для одного и того же бетона не менее трех раз. Средняя, из трех определений, осадка конуса в сантиметрах принимается за меру консистенции бетона.



План

Фиг. 12.

На практике приходится встречаться с осадками конуса от 1—2 см до 18—20 см.

При укладывании бетона в форму последняя должна придерживаться за ручки и прижиматься к горизонтальному листу, во избежание поднятия формы при протыкании его стержнем.

Перед наполнением формы массой бетона внутренняя поверхность конуса и площадка должны быть смочены водой.

После опыта с внутренней поверхности конуса и с площадки должны быть удалены следы бетонной массы.

Определение по растеканию массы.

Для определения консистенции по растеканию массы применяется „столик“, устроенный следующим образом.

Прибор состоит из двух площадок, расположенных одна на другой. Нижняя площадка укладывается горизонтально и во время опыта не должна иметь возможности перемещаться. Верхняя площадка соединена с одной стороны с нижней двумя петлями. С другой стороны верхняя площадка имеет скобу, за которую она может быть приподнята на 4 см. Ограничитель подъема, прикрепленный к нижней площадке, не допускает более высокого поднятия.

Опыт производится следующим образом.

Прибор устанавливается горизонтально, и посредине верхней площадки помещается коническая форма таких же размеров, как при определении консистенции осадкой конуса. Наполнение формы бетоном и снятие ее—по тем же правилам, как это описано выше. После снятия формы держа за скобу, поднимают край верхней площадки на 4 см (поднятие выше—не допускается ограничителем). Поднятие производится осторожно без встряхивания и ударов об ограничитель. Далее отпускают верхнюю площадку и позволяют ей упасть на нижнюю. Подобная операция производится 10 раз, после чего измеряется нижний диаметр расплывшейся бетонной массы. Измерение производится по двум взаимно перпендикулярным направлениям и в качестве характеристики берется среднее из двух измерений.

Опыт производится не менее трех раз для одного и того же бетона и в качестве окончательной характеристики консистенции принимается средняя величина диаметра всех наблюдений.

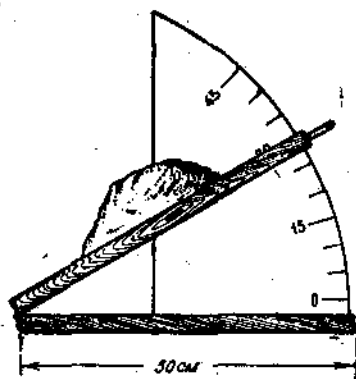
Смачивание формы и площадки водой до опыта и очистка от следов массы бетона после опыта—обязательны.

Определение по углу наклона столика.

Механической Лабораторией Украинского Института Сооружений выработан способ определения консистенции по углу наклона столика¹⁾.

Прибор для этого определения (столик

Скрамтаева) состоит из двух деревянных щитов, размером 50×40 см, скрепленных дверной петлей. Верхний щит обит кровельным железом. К нему прикреплена ручка, а к нижнему щиту—дуга из фанеры, расчерченная на градусы (фиг. 13). Метод определения консистенции с помощью этого прибора следующий: проба бетона в 3 л. кладется



Фиг. 13.

Скрамтаева) состоит из двух деревянных щитов, размером 50×40 см, скрепленных дверной петлей. Верхний щит обит кровельным железом. К нему прикреплена ручка, а к нижнему щиту—дуга из фанеры, расчерченная на градусы (фиг. 13). Метод определения консистенции с помощью этого прибора следующий: проба бетона в 3 л. кладется

¹⁾ „Бетон“—Скрамтаев Б. Г. Вып. № 4 Института Бетонов, Ленинград 1931 г.

на верхний щит, предварительно вытертый насухо, и 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. Угол наклона, при котором начинает двигаться вся масса бетона считается мерой консистенции.

Инж. Скрамтаев приводит следующие данные из опытов о соотношении между показаниями столика и осадкой конуса Абрамса:

Угол наклона столика, в градусах .	36	33	30	25	17	16	15
Осадка конуса, в сантиметрах . . .	0,5	2,5	4,5	7,5	20	(не дает показаний)	

Границы применения опытов с конусом и столиком.

При определении консистенции вышеуказанными методами необходимо иметь в виду следующее.

1) Оценка консистенции осадкой конуса и растеканием массы является достаточно точной для практических целей при употреблении бетонов с расходом цемента на кубический метр не ниже 250—220 кг.

2) При применении в бетоне камневидной добавки, в состав которой входят зерна крупнее 50 мм, опыт с конусом и столиком не дает удовлетворительных результатов, а в некоторых случаях из-за максимального размера зерен невозможен, или требует некоторых изменений.

В таком случае рекомендуется применять конус увеличенных размеров с диаметром оснований: верхнего—15 см, нижнего—30 см и высотой 45—см.

Для установления связи с показаниями нормальной конуса могут быть произведены сравнительные испытания по нижеследующему способу.

Отбирают по возможности ровные по гранулометрическому составу две пробы камневидной добавки в необходимом для испытания количестве. Затем одну из проб просеивают через сито с отверстиями в свету в 50 мм и остаток, получившийся на сите, удаляют.

Далее готовят бетон, применяя крупную добавку, не просеянную через сито—50-мм грохот, и производят опыт с увеличенным конусом.

С добавкой, просеянной через 50-мм грохот, также затворяют бетон совершенно такого же состава с одинаковой дозировкой воды, как и в первом случае, и производят опыт конусом, применяя нормальную форму.

Соотношение осадок конуса дает возможность оценить консистенцию при данном составе с помощью увеличенного конуса.

При применении увеличенного конуса количество штыкований должно быть увеличено пропорционально увеличению объема конуса по сравнению с нормальным. При указанных выше размерах конуса количество штыкований на каждый слой бетона, уложенного в конус (при укладке в три слоя), должно быть равно 85.

б) Зависимость консистенции: $S=f\left(\frac{w}{c}, n, M\right)$.

Масса бетона после перемешивания имеет тем большую осадку конуса, чем больше пластичность бетона.

Исследования консистенции бетона показывают, что при всех прочих равных условиях, масса бетона тем более пластична и дает тем большую осадку конуса, чем

а) больше водоцементное отношение $\left(\frac{w}{c}\right)$,

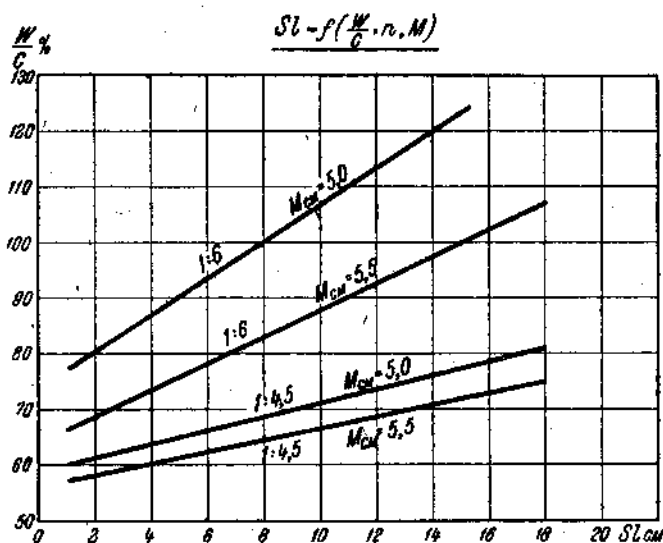
б) меньше количество инертных на единицу объема (веса) цемента и

в) меньше содержание мелкой инертной добавки в смеси инертных (до известных пределов).

Характер зависимости консистенции, обозначенной осадкой конуса, от вышеуказанных факторов представлен нижеследующим графиком (фиг. 14).

На графике изображены линии зависимости $S=f\left(\frac{w}{c}\right)$. Здесь через S обозначена осадка конуса (*Slump*).

Как видно из графика, для достижения одной и той же осадки конуса (консистенции) необходимо тем больше водоцементное отношение, чем менее жирен состав (чем больше n в пропорции состава 1: n) и чем больше содержание мелкой инертной добавки в смеси инертных (чем меньше модуль крупности смеси инертных— M).



Фиг. 14.

Следовательно, добиваясь одной и той же консистенции бетона при различных соотношениях цемента, а также мелкой и крупной инертных добавок, необходимо изменять водоцементное отношение, что как уже было сказано выше, влечет за собою изменение прочности бетона.

Таким образом, очевидно, что требование определенной прочности бетона (временное сопротивление сжатию) и определенной консистенции бетона, обуславливаемой конструкцией сооружения и способом производства работ, определяют полностью состав бетона для данных материалов. Имея зависимости

$$R=f\left(\frac{w}{c}\right) \text{ и } S=f\left(\frac{w}{c}, n, M\right),$$

очевидно, можно назначить состав бетона, удовлетворяющий заданным R и S .

в) Влияние гранулометрического состава смеси инертных на консистенцию.

При рассмотрении характеристик инертных материалов выше указано, что модуль крупности не вполне отражает гранулометрический состав добавок.

Поэтому, связывая характеристику консистенции—осадку конуса с модулем крупности, необходимо это иметь в виду.

При сравнении двух смесей различных материалов с одинаковым модулем крупности, но отличающихся по своему гранулометрическому составу, осадка конуса (консистенция) при всех прочих равных условиях (водоцементное отношение, состав) оказывается в общем случае различной.

г) Влияние на консистенцию формы частиц инертных добавок.

Форма частиц инертных добавок и свойства их поверхности в значительной степени отражаются на консистенции бетонной массы.

Чем более округлены частицы добавок, тем более подвижна и пластична масса бетона при одном и том же водоцементном отношении.

Поэтому, сравнивая, например, консистенцию бетонной массы, изготовленной со щебнем в качестве крупной добавки, с бетонной массой одинакового состава, с одинаковым мелким агрегатом и цементом, но с гравием в качестве крупной добавки, можно видеть, что в первом случае потребуется большее водоцементное отношение, нежели во втором для достижения одной и той же консистенции бетона.

Вследствие того, что формы зерен и свойства их поверхности не могут быть охарактеризованы количественно, зависимость $S = f\left(\frac{w}{c} n, M\right)$ является принадлежащей лишь для данного рода инертных материалов.

Удобообрабатываемость бетонной массы.

Весьма важным обстоятельством при выборе состава бетона является вопрос об удобообрабатываемости массы при изготовлении бетона. Масса бетона тем более удобно укладывается в формы, чем больше содержится в ней мелких частиц. Однако, большое содержание мелких частиц влечет за собою требование увеличения водоцементного отношения, что снижает прочность бетона. Кроме того, как было уже отмечено, большее содержание крупных инертных добавок несколько увеличивает прочность бетона. Поэтому следует стремиться к увеличению содержания в смеси крупной добавки для достижения большей прочности бетона, каковая является важнейшим качеством бетона. Требование же удобной обработки массы должно лишь ограничивать содержание крупной добавки.

Одновременно на удобстве обработки отражается и предельная крупность зерен (d) инертных добавок. Практически за предельную крупность зерен добавок принимается размер отверстия сита в сантиметрах, на котором уже остается около 15% крупных инертных добавок.

Очень крупные частицы создают затруднение при перемешивании бетона и могут отделяться от остальной массы. Как предельный допустимый размер, указывается некоторыми исследователями — 100 мм.

Для установления предельной крупности зерен рекомендуется вводить, помимо стандартного набора сит, еще дополнительные сита с размерами отверстий в свету в 50 и 25 мм.

Предельное содержание крупной инертной добавки в смеси может быть охарактеризовано предельным модулем крупности смеси инертных.

Приводим таблицу (см. стр. 41) предельных модулей смеси инертных в зависимости от предельной крупности зерен и номинального состава бетона, для щебня и гравия (крупные инертные добавки).

При сооружении бетонных массивов, наименьшие размеры коих превосходят по крайней мере в 10 раз наибольшую крупность зерен инертных материалов, допускается увеличивать предельный модуль крупности смеси против табличного путем прибавки.

	0,10	0,20	0,30	0,40
при крупности	19 мм	38 мм	75 мм	150 мм.

Можно рекомендовать также для выбора соотношения мелкой и крупной инертных добавок построение кривых просеивания смеси агре-

Таблица предельных значений модуля крупности смеси.

Гравий (форма зерен—округленная)						Щебень (форма зерен—неправильная, угловатая)						Номинальный состав (приблизительный)
Размеры зерен в миллиметрах												
0—10	0—20	0—30	0—40	0—50	0—60	0—10	0—20	0—30	0—40	0—50	0—60	
4,4	5,3	5,7	6,1	6,5	6,9	4,1	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	1:3
4,3	5,1	5,5	5,9	6,3	6,7	4,0	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	1:4
4,2	5,0	5,4	5,8	6,2	6,6	3,9	4,7	5,1	5,5	5,9	6,3	1:5
4,1	4,9	5,3	5,7	6,1	6,5	3,8	4,6	5,0	5,4	5,8	6,2	1:6
4,0	4,8	5,2	5,6	6,0	6,4	3,7	4,5	4,9	5,3	5,7	6,1	1:7

готов для различных содержаний песка в смеси и сравнение, получаемых таким путем кривых, с „идеальными“ кривыми просеивания.

III. ПОНЯТИЕ О НОМИНАЛЬНОМ СОСТАВЕ.

Бетону, как строительному материалу, должно предъявляться требование однородности его физических и механических свойств. Однородность бетона тем более будет обеспечена, чем постоянное будет соотношение составных частей бетона в массе его.

Поэтому при изготовлении бетона необходимо принять все меры к правильной дозировке его составных частей. Состав бетона принято назначать по объему, обозначая пропорцией количество объемных единиц инертных материалов на единицу объема цемента.

Как выше уже было указано (см. стр. 30), инертные материалы, в особенности мелкие (песок), в зависимости от содержания в них влаги, занимают тот или иной объем. При объемной дозировке материалов это обстоятельство должно быть учтено. Поэтому все испытания и расчеты состава бетона должны быть отнесены к инертным материалам, состояние которых предполагается стандартным (см. стр. 30).

Составы, в которых инертные материалы предполагаются в стандартном состоянии, будут в дальнейшем называться номинальными.

Таким образом, номинальный состав 1:n — подразумевает „n“ объемов инертных материалов, находящихся в стандартном состоянии, на 1 объем цемента в „рабочем“ состоянии. При этом „n“ является суммой объемов мелкой и крупной добавок, отмеренных отдельно.

Если обозначить через r отношение объема мелкой добавки (песка), входящей в состав (в стандартном состоянии), к сумме объемов мелкой и крупной добавок, то, очевидно, номинальный состав может быть представлен пропорцией:

$$1:n:r:n(1-r)=1:n_1:n_2,$$

где $n_1 = nr$ — содержание мелкой добавки (песка) в составе по объему, $n_2 = n(1-r)$ — содержание крупной добавки (щебень, гравий) в составе по объему.

Модуль крупности смеси ($M_{см}$) инертных материалов при данном номинальном составе может быть подсчитан, если известны модули крупности мелкой (M_m) и крупной (M_k) добавок и их соотношение „ r “.

Очевидно, что

$$M_{см} = M_m \times r + M_k \times (1-r).$$

В случае, если при данном номинальном составе 1:п, необходимо, чтобы смесь инертных материалов имела определенный модуль ($M_{сн}$), то соотношение мелкой и крупной добавок найдется из равенства

$$r = \frac{M_s - M_{сн}}{M_s - M_x}$$

Последнее равенство справедливо в том случае, если объемные веса инертных материалов одинаковы или близки по значению.

В том случае, когда объемные веса мелкой и крупной добавки сильно отличаются друг от друга, значение „r“ должно быть подсчитано по формуле:

$$r = \frac{(M_s - M_{сн}) P_x}{M_x P_s - M_x F_s + M_{сн} (P_s - P_x)}$$

где P_x — объемный вес в стандартном состоянии крупной добавки и P_s — объемный вес в стандартном состоянии мелкой инертной добавки.

IV. ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ ОСНОВНЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ.

Рациональное проектирование составов бетона требует знания основных зависимостей $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ и $S = f\left(\frac{w}{c}, n, M\right)$ для материала данного строительства. Для построения их должны быть произведены предварительные затворения и испытания бетонных кубиков и опыты определения консистенции при помощи конуса для нескольких составов.

Программа затворения может быть намечена, примерно, следующая:

Номинальных составов 1:4; 1:6; 1:8;	3
соотношений $\frac{\text{мелкой}}{\text{крупной}}$ инертных добавок	2
консистенций—одна, принятая на работах	1
кубиков-близнецов	3

Всего $3 \times 2 \times 1 \times 3 = \dots 18$ шт.

Соотношения между мелкой и крупной инертными добавками следует выбирать по каждому составу так, чтобы первая комбинация инертных имела бы модуль крупности смеси, близкий к предельному для данного состава и данной предельной крупности зерен (см. выше таблицы предельных значений модуля крупности смеси), вторая же комбинация по каждому составу должна иметь несколько меньший модуль крупности, например, на 0,5, нежели, первая.

Консистенция должна быть выбрана близкой к той, которая предполагается на работах.

При затворении кубиков консистенция определяется осадкой конуса.

По испытании кубиков через 28 дней после их изготовления результаты испытания наносятся на график, на котором по оси абсцисс откладывается водоцементное отношение $\left(\frac{w}{c}\right)$ по весу, а по оси ординат— значение временного сопротивления кубика.

По нанесенным на график точкам проводится средняя кривая $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ так, чтобы сумма отклонений от нее опытных точек была по возможности наименьшей.

С целью сократить время, потребное на предварительные опыты, образцы бетона (кубики) могут быть испытаны через 7 дней после изготовления.

Временное же сопротивление бетона в возрасте 28 дней может быть подсчитано по формуле:

$$R_{28} = R_7 + n \sqrt{R_7},$$

где R_{28} — временное сопротивление бетона через 28 дней по изготовлении;

R_7 — временное сопротивление бетона через 7 дней по изготовлении;

n — коэффициент, зависящий от качества цемента, а при данном цемента — от водоцементного отношения. Для цемента обыкновенного (марки О) и при $\frac{w}{c} = 0,5 - 0,7$ $n \approx 5 - 7$, в среднем для ориентировки можно принять $n = 6$.

Удовлетворительные результаты для определения 28-дневной прочности бетона по 7-дневным испытаниям дает также формула (в указанных выше пределах)

$$R_7 = 0,6 R_{28}.$$

Рекомендуется в таком случае изготавливать двойной комплект кубиков, из которых один как контрольный, в последующем испытывается в нормальном 28-дневном возрасте.

Параллельно с затворениями бетона по вышеуказанной программе, по которой предусмотрена лишь одна рабочая консистенция, рекомендуется проделать дополнительные опыты определения консистенции в функции от водоцементного отношения для каждого из указанных составов.

Например, пусть рабочая консистенция характеризуется осадкой конуса 7—10 см и все образцы бетона по программе имели такую консистенцию при затворении.

В этом случае в дополнительных опытах с конусом рекомендуется для каждого состава так изменять водоцементное отношение, чтобы консистенция бетона охарактеризовалась бы осадкой конуса:

1) $Sl = 1 - 3$ см и 2) $Sl = 15 - 18$ см.

Таким образом, для каждого состава будем иметь по три точки для построения зависимости осадки конуса в функции от водоцементного отношения.

Зависимость эту и находим, нанося точки на график $S = f\left(\frac{w}{c}\right)$ (см. фиг. 14).

Имея основную зависимость $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ и зависимость $S = f\left(\frac{w}{c}, n, M\right)$, можно уже приступить к выбору состава бетона.

Графики $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ и $S = f\left(n, M, \frac{w}{c}\right)$ рекомендуется для удобства располагать вместе так, как это показано на фиг. 16.

Как было уже изложено выше, временное сопротивление бетона изгибу подчиняется водоцементному отношению аналогично сопротивлению при сжатии (см. фиг. 9).

Между сопротивлением бетонного кубика сжатию (R_c) и временным сопротивлением изгибу бетонной балочки (R_g') имеется почти линейная зависимость, т. е. можно практически считать:

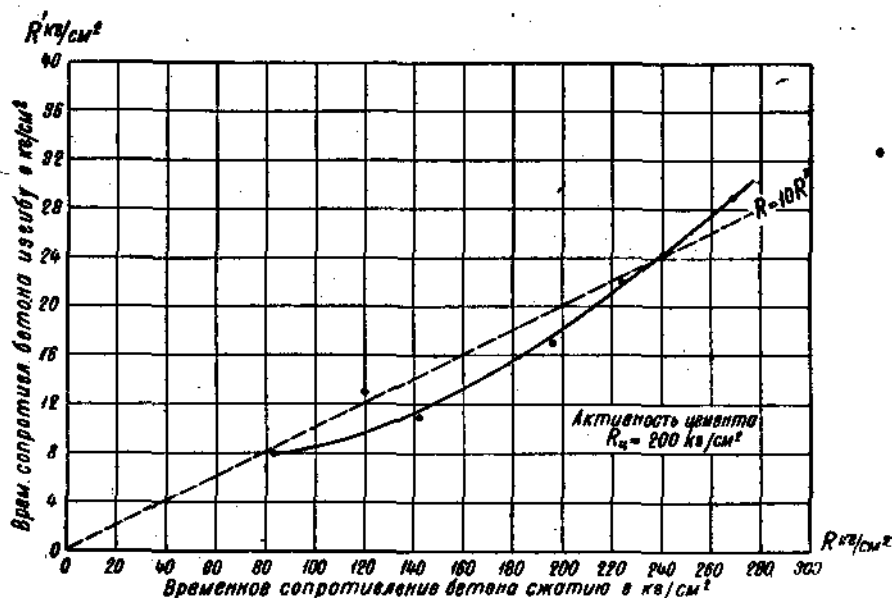
$$R_g = A \cdot R_g',$$

где A — коэффициент, зависящий от качества цемента, способа изготовления бетона, температуры, условий хранения бетона и т. д.

Для балочек, размером $120 \times 15 \times 15$ см, при пролете $l = 100$ см, при применении цемента обыкновенного качества (марки О) среднее зна-

чение коэффициента $A=8$, если бетон изготовлялся при температуре $+15-20^{\circ}\text{C}$ и хранился в дальнейшем во влажной среде (влажные опилки, песок) при такой же температуре.

На фиг. 15, приведен график, полученный в Механической Лаборатории ЛИИПС, показывающий, что между R_c (сжатие) и R'_c существует почти прямолинейная зависимость. Зависимость эта построена на основании



Фиг. 15.

результатов испытания бетонных балочек размерами $80 \times 15 \times 8$ при пролете $l=60$ см. Найденный в этом случае коэффициент $A=10$. Таким образом, построение кривых основных зависимостей $R=f\left(\frac{w}{c}\right)$ может быть с известным приближением произведено на основании испытания бетонных балочек на изгиб. Этот способ построения кривой $R=f\left(\frac{w}{c}\right)$, будучи более грубым, нежели построение $R=f\left(\frac{w}{c}\right)$ по результатам непосредственного испытания бетонных кубиков на сжатие, имеет преимущество в тех случаях, когда строительство, не имея пресса для испытания бетона на сжатие, значительно удалено от ближайшей Лаборатории, в которой это испытание может быть поставлено.

Испытание бетонных балочек может быть осуществлено на месте работ, что вообще может позволить расширить предварительные опыты с бетоном и последующий контроль его качества.

Изготовление бетонных балочек и испытание их на месте же работ, одновременно с испытанием в лаборатории кубиков, изготовленных по вышеуказанной, примерной программе, даст возможность установить значение коэффициента A , а в дальнейшем производить контроль прочности бетона на месте работ испытанием балочек.

Испытание балочки может производиться непосредственно нагрузкой в виде сосредоточенного груза, приложенного посредине пролета.

На основании результатов испытания бетонных балочек на изгиб, по установленному, или принятому ориентировочно, коэффициенту перехода A , вычисляется временное сопротивление бетона сжатию $R_c = A \cdot R_c'$ и далее строится указанным выше порядком кривая $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$, которой и пользуются при подборе состава бетона.

Очевидно, что при проектировании составов бетона можно пользоваться непосредственно и кривой $R_c = f\left(\frac{w}{c}\right)$. Для этого только прочность бетона надо характеризовать величиной R_c' .

Необходимо еще раз отметить, что способ испытания бетона на изгиб дает более грубые результаты, вследствие значительного влияния на характеристику прочности при изгибе целого ряда посторонних причин (изготовление образца, хранение и т. д.) и может служить лишь, как приближенный.

V. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА.

Проектирование состава бетона включает в себе определение:

- а) соотношения количества цемента и инертных материалов (номинальный состав), что определяет расход цемента на кубометр бетона;
- б) соотношения мелкой и крупной инертных добавок (гранулометрический состав смеси инертных);
- в) водоцементного отношения.

Для определения вышеуказанных величин должны быть предварительно установлены: потребное (расчетное) временное сопротивление бетона раздроблению и рабочая консистенция.

Выбор временного сопротивления бетона раздроблению.

Выбор временного сопротивления бетона раздроблению должен быть произведен в зависимости от рода сооружения, для которого он предназначается согласно норм ВСНХ СССР, по которым бетон подразделяется на марки.

Марка бетона характеризуется по нормам двумя основными свойствами—сопротивлением сжатию и рабочей консистенцией бетонной массы.

В отношении временного сопротивления сжатию марка бетона определяется принятым при проектировании сооружения допускаемым напряжением и коэффициенту запаса. Указанное временное сопротивление относится к кубику, изготовленному из бетона, взятого при укладке в дело, хранившемуся до испытания во влажных опилках в помещении при температуре около $+15—20^{\circ}\text{C}$ и испытанному в 28-дневном возрасте.

Для пластичного и литого бетона значения временного сопротивления сжатию, характеризующие марку бетона, приведены в нижеследующей таблице:

Временное сопротивление сжатию в кг/см^2	210	170	130	110	90	60	40
---	-----	-----	-----	-----	----	----	----

Согласно этой классификации качество бетона в сооружении проверяется испытанием контрольных кубиков, при чем последние должны иметь временное сопротивление не ниже значения, характеризующего данную марку бетона.

Выбор консистенции.

Консистенция бетона определяется конструкцией сооружения, способом транспортирования и укладки бетона. В общем, бетону должно предъявляться требование, чтобы консистенция его была такова, чтобы ни

при транспортировании, ни при укладке не происходило разделение его на составные части и не происходило отделение цементного молока. В формы бетон должен укладываться по возможности без особых затруднений, заполнив все части формы полностью, не образуя каверн.

С другой стороны, необходимо стремиться, чтобы консистенция бетона не была излишне пластичной, так как излишняя пластичность невыгодно отражается либо на качестве бетона (излишнее содержание воды), либо на стоимости бетона (излишний расход цемента).

В качестве характеристики консистенции бетона для различных родов сооружений по осадке конуса, приводится следующая таблица:

Для бетонных массивов, дорожных одежд и т. п.	1,5— 8 см
Для железобетонных конструкций с редким расположением арматуры	6—12 см
То же, но с более частым расположением арматуры	10—18 см
Для железобетонных колонн и тонких стен	15—18 см
Для стесненных сечений	20—22 см

Подбор номинального состава бетона.

Если установлено уже расчетное временное сопротивление сжатию и рабочая консистенция бетона, а также определены характеристики инертных добавок: гранулометрический состав (модуль крупности), предельная крупность зерен, влажность, переходные коэффициенты и стандартные веса, то, по построенным на основании результатов предварительных опытов (см. гл. IV) зависимостям

$$R = f\left(\frac{w}{c}\right) \text{ и } S = f\left(\frac{w}{c}, n, M\right)$$

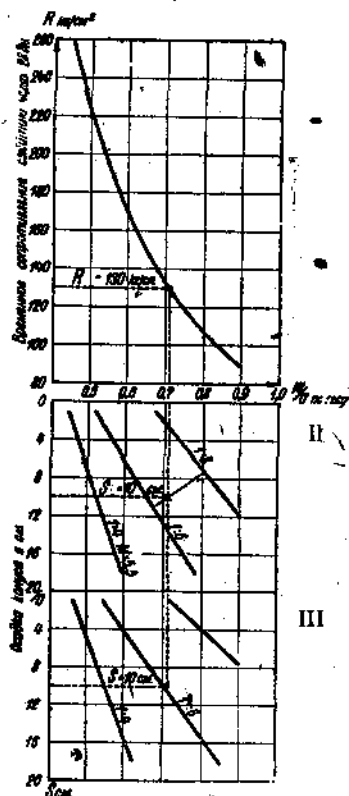
может быть произведен подбор состава бетона.

Пусть графики, изображенные на фиг. 16 представляют зависимости, построенные вышеизложенным способом.

График I на фиг. 16 представляет зависимость $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$, график II — зависимость

$S = f\left(\frac{w}{c}, n\right)$, для смесей инертных с предельным модулем крупности и график III — зависимость $S = f\left(\frac{w}{c}, n\right)$ для смесей инертных с модулями крупности меньшими предельных на 0,5—0,3.

Если требуется подобрать состав бетона прочностью R кг/см² и консистенции, характеризующей осадку конуса $S_{см}$, то проводя на графике I горизонтальную линию на уровне заданного „R“ до пересечения с кривой, сносим эту точку на горизонтальную ось, найдя тем самым предельное допустимое для достижения заданной прочности бетона водоцементное отношение. Продолжая ниже перпендикуляр до горизонтальной линии на графике II, проведенной на уровне заданной осадки конуса „S“ см получаем точку, определяющую,



Фиг. 16.

номинальный состав, который при найденном $\frac{w}{c}$ и предельном модуле крупности смеси удовлетворит заданным требованиям (R и S).

Точно также находится на графике III состав, с модулем крупности меньшим предельного (напр., на 0,5, если в опытах была принята такая разница в модулях), который также будет удовлетворять заданию.

Далее обязательно необходима проверка консистенции для намеченных составов при найденном значении $\frac{w}{c}$.

Для этого замешивается бетон подобранных составов и с каждым из них производится опыт с конусом.

Кроме того, рекомендуется нанесение гранулометрического состава смесей на график (кривая просеивания) и сравнение с „идеальной“ кривой Фуллера.

Сравнение намеченных составов по консистенции, и удобообрабатываемости, даст возможность произвести окончательный выбор из них состава бетона.

Безусловно, окончательный сравнительный выбор состава бетона может быть произведен и по экономическим соображениям.

Опыт определения консистенции и удобообрабатываемости бетонной массы для окончательного выбора состава из намеченных подбором по графикам желательно производить в присутствии производителя работ и опытного десятника-бетонщика.

Пример.

Пусть требуется подобрать состав бетона марки „130“ и консистенции, характеризуемой осадкой конуса, примерно, 10 см.

Материалы:

Цемент марки „0“, активность $R_y = 210 \text{ кг/см}^2$.

Инертные — гравий с модулем крупности $M_k = 7,0$, предельная крупность зерен $d = 40 \text{ мм}$; и песок — с модулем $M_n = 2,8$.

До проектирования были произведены предварительные опыты:

1) изготовлены и испытаны в 28-дневном возрасте 6 партий бетонных кубиков следующих составов:

а) с предельными модулями крупности смеси инертных

1:4	1:6	1:8
5,9	5,7	5,5
Модуль смеси (предельный)		

б) с модулями крупности меньшими предельных

1:4	1:6	1:8
5,4	5,2	5,0
Модуль смеси		

Консистенция всех составов $S \approx 10 \text{ см}$.

2) Произведены дополнительные опыты определения консистенции со всеми вышеуказанными составами при водоцементных отношениях* несколько меньшем и несколько большем, нежели требуется для достижения осадки конуса $S = 10 \text{ см}$.

На основании данных этих опытов построены графики, изображенные на фиг. 16, по которым и производим подбор состава бетона.

На графике I фиг. 16 находим точку с ординатой $R = 130 \text{ кг/см}^2$. Проектируя ее на ось абсцисс, отыскиваем предельное для данного случая водоцементное отношение:

$$\frac{w}{c} = 0,71 \text{ по весу.}$$

На графике II (составы с предельными модулями крупности смесей инертных) и III (составы с модулями крупности, меньшими предельных на 0,5) проводим горизонтальные линии на уровне заданной осадки $S = 10$ см, на которые и сносим точку, найденного $\frac{W}{C} = 0,71$.

На графике II определяется точкой пересечения линий „ $S = 10$ “ и „ $\frac{W}{C} = 0,71$ “ номинальный состав 1:6,6 (по интерполяции между линиями „1:6“ и „1:8“, а на графике III—соответственно, определяется состав 1:6).

Первый состав требует предельного модуля крупности смеси инертных. Отыскивая по таблице предельных модулей, находим для него $M_{cm} = 5,65$.

Второй состав—с модулем меньшим предельного на 0,5, что соответствует (согласно таблицы) $M_{cm} = 5,7 - 0,5 = 5,2$.

Определяем далее для каждого из намеченных составов содержание песка в сумме объемов инертных по формуле

$$r = \frac{M_k - M_{cm}}{M_k - M_n}$$

и находим затем номинальные пропорции
цемент : песок : гравий.

1. Ном. состав 1:6,6 $M_{cm} = 5,65$

$$r = \frac{7,0 - 5,65}{7,0 - 2,8} = 0,32$$

Номинальная пропорция—1:6,6 $\times$ 0,32:6,6 $\times$ 0,68 или 1:2,1:4,5

2. Ном. состав 1:6,0 $M_{cm} = 5,2$

$$r = \frac{7,0 - 5,2}{7,0 - 2,8} = 0,43$$

Номинальная пропорция 1:6,0 $\times$ 0,43:6,0 $\times$ 0,57 или 1:2,6:3,4

Далее рассчитываем, как это указано ниже, замесы по каждому составу и по консистенции и удобообрабатываемости массы выбираем из приведенных выше составов окончательный, придерживаясь по возможности состава с большим модулем крупности смеси.

В случае, если при проверке консистенции конусом осадка последнего не вполне соответствует необходимой, изменяем несколько соотношение между количеством цемента и инертных, оставляя соотношение мелкого и крупного агрегата прежним, а также оставляя без изменения найденное водоцементное отношение. Определяем консистенцию, исправленного таким образом состава, осадкой конуса и наблюдаем, насколько она соответствует назначенной. Если и в этом случае не достигнуто желательное совпадение, то изменяем вновь до тех пор, пока не достигнем необходимого результата. В общем, такое корректирование состава несколько не затруднительно и быстро приводит к необходимой цели.

Исправление состава (соотношение количества цемента и инертных) в таких случаях, очевидно, должно производиться путем отощения состава (увеличения „п“) в случае излишней пластичности (при опыте осадка бетона больше желательной) и ужирения состава в противном случае.

Приведенный выше ход выбора состава бетона относится к случаю, когда для материалов, применяющихся в бетоне (цемент, инертные добавки), имеются уже построенные предварительно основные зависимости $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ и $S = f\left(n_1 M_1 \frac{w}{c}\right)$.

На практике не всегда имеется в распоряжении достаточно времени для производства предварительных опытов, необходимых для построения основных зависимостей (2 — 5 недель), а затем и подбора состава бетона.

Часто также и материалы поступают на склад строительства почти перед началом бетонирования. Точно также возможно получение материалов на строительство по частям, при чем в дело они направляются почти немедленно вслед за их получением.

Как в первом случае (позднее получение материалов), так и во втором случае (изменение материала в процессе бетонных работ) является необходимостью произвести подбор состава бетона, не имея основной зависимости прочности $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ для данных материалов.

В этом случае с допустимой для практических целей точностью проектирование состава бетона может быть произведено по зависимостям, ранее построенным на других, подходящих по качеству, материалах (как на другом цементе, так с другими инертными добавками) каким-либо строительством или лабораторией, а также по данным опубликованным в „Инструкции по контролю над качеством бетона на производстве работ“, изданной ВСНХ СССР в 1930 г.

Рассмотрим несколько возможных случаев.

1 случай. Перед производством бетонирования подбор состава бетона был произведен на основании результатов предварительных опытов так, как это изложено выше.

В процессе работ изменился цемент. Инертные же остались прежние. Активность цемента новой партии R'_c отличается от активности цемента (R_c), на котором построена зависимость $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$.

В этом случае, если активность нового цемента R'_c отличается более чем на 10% от величины R_c , то необходимо перестроить зависимость $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$, изменив ординаты (R_0) в отношении $\frac{R'_c}{R_c}$.

Зависимость $S = f\left(n_1 M_1 \frac{w}{c}\right)$ оставить без изменения.

Рабочий вес цемента принять равным весу цемента, вошедшего в первоначальных опытах.

Произвести подбор состава бетона, пользуясь перестроенным графиком $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ по вышеизложенному.

В случае, если R'_c отличается от R_c менее 10%, можно оставить состав бетона прежний, проследив, однако, по данным результатов первых контрольных образцов бетона с новым цементом (хотя бы по 7-дневным испытаниям), сохранились ли прежние значения показаний прочности контрольных кубов. В случае резкого изменения показаний, требуется прокорректировать соответственно им состав бетона.

В том случае, когда нет времени для определения активности нового цемента, даже по краткосрочным испытаниям его, возможно, либо принять

активность цемента по его заводскому паспорту, если таковой своевременно получен, либо принять в расчет среднее, или несколько более низкое, значение активности цемента данного завода, каковые могут быть известны строительству из предыдущего опыта или по сведениям от соответствующих Лабораторий. Однако, приняв при подборе состава бетона такие средние цифры для R'_* , необходимо все же, не задерживая производства бетонных работ, поставить лабораторное определение действительной активности и уже по 7-дневным результатам испытания цемента возможно будет судить правильно ли было принято ориентировочное значение R'_* .

В исключительном случае, когда нет никаких данных для суждения о качестве цемента, можно принять на первый период бетонирования (до получения результатов испытания цемента) минимальное значение активности, требуемое нормами, напр., для цемента марки $O-R'_* = 160 \text{ кг/см}^2$.

2-й случай. Изменились инертные добавки, цемент же применяется такой же, как и в опытных исследованиях.

В этом случае рекомендуется считать зависимость $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ действительной.

Зависимость же $S = f\left(\frac{w}{c} S_n M\right)$ может быть построена путем постановки опытов определения консистенции, как это указано выше.

Можно, однако, и не строить последней зависимости, а выбирать состав путем последовательного подбора следующим образом.

По графику $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ находится предельное водоцементное отношение $\left(\frac{w}{c}\right)$ по заданному временному сопротивлению бетона R .

Затем затворяется бетон какого-либо номинального состава, причем соотношение между мелкими и крупными инертными добавками согласуется с таблицей предельных значений модулей смеси.

Определяется осадка конуса при найденном значении $\frac{w}{c}$.

Консистенция в большинстве случаев оказывается при таком ходе подбора неудовлетворительной. Поэтому далее производится последовательное корректирование состава бетона путем изменения соотношения цемента и инертных при одном и том же (найденном) водоцементном отношении.

Соотношение между крупной и мелкой инертной добавкой изменяется соответственно таблице предельных модулей смеси.

Последовательное изменение состава производится до тех пор, пока не будет достигнута необходимая консистенция.

Состав, удовлетворяющий в отношении консистенции поставленным требованиям, при данном водоцементном отношении и может быть принят окончательным.

3-й случай. Цемент и инертные отличаются от принятых в опытных исследованиях, имеющихся в распоряжении строительства.

В этом случае, очевидно, необходимо поступить так, как описано в первых двух примерах:

- а) перестроить график $R = f\left(\frac{w}{c}\right)$ в отношении $\frac{R'_*}{R'_*}$, если $R'_* \geq R_*$ на 10% и более, в противном случае оставить без изменения и
- б) произвести подбор состава, как это описано для предыдущего случая.

Определение выхода бетона.

Выходом бетона принято называть отношение объема получаемого бетона к сумме объемов, входящих в состав сухих материалов, отмеренных отдельно.

Определение выхода бетона может быть произведено при затворении бетонных кубиков или специально поставленными для этого опытами.

Если объем полученного бетона (например, объем кубиков) V_0 , а объем вошедших в состав бетона материалов:

V_c — объем цемента,

V_s — " мелкой добавки в стандартном состоянии,

V_k — " крупной " " " "

то выход бетона:

$$\delta = \frac{V_0}{V_c + V_s + V_k}$$

В случае, если при изготовлении кубиков из данного замеса оказывается некоторый избыток бетонной массы, полная кубатура бетона замеса может быть подсчитана.

Для этого необходимо только при отмеривании материалов, в замес взвешивать их.

Таким образом, будет известно количество материалов, вошедших в замес, как по объему, так и по весу.

Перед укладкой бетона в формы последние также взвешиваются, а далее форма взвешивается с уложенным в нее бетоном.

Очевидно, разность весов формы, наполненной бетоном и пустой, даст вес кубика сразу же по изготовлении.

Если объем изготовленного бетона V (объем кубика), вес его P , а вес всех материалов, вошедших в замес, — P_0 , то из всей замески (включая и остаток при укладке в форму) вышло бы бетона

$$V' = V \frac{P_0}{P}$$

Выход бетона определяется попрежнему.

Значения выхода бетона, встречающиеся наиболее часто в практике наблюдаются обычно в пределах от 0,60 до 0,75.

Для ориентировочных подсчетов может быть принято значение 0,65.

Расчет количества материалов на замес.

Пусть установлен номинальный состав

$$1 : n_s : n_k$$

Для изготовления V куб. м бетона (определяемого, например, емкостью бетономешалки) необходимое количество материалов может быть подсчитано следующим образом.

Очевидно, если выход бетона (отношение объема получаемого бетона в сумме объемов, входящих в состав сухих материалов) обозначить через δ , то

$$V = m \delta (1 + n_s + n_k)$$

Откуда

$$m = \frac{V}{\delta (1 + n_s + n_k)}$$

а состав замеса, выраженный в куб. метрах, окажется равным

$$m (: n_s : n_k) = (m : m n_s : m n_k) \text{ куб. м.}$$

Полагая отвешивание цемента, а не отмеривание его по объему, при рабочем весе цемента $P_c \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, будем иметь номинальную пропорцию для замеса:

$$mP_c \text{ кг} : m n_{\text{м}} \text{ м}^3 ; m n_{\text{к}} \text{ м}^3.$$

При этом рабочий вес цемента P_c должен быть принят таким же, каков был принят в исследованиях, на основании которых произведен подбор состава бетона.

Полевая пропорция при переходных коэффициентах для мелкой составляющей $\left(\frac{b}{a}\right)_{\text{м}}$ и для крупной $\left(\frac{b}{a}\right)_{\text{к}}$ будет:

$$mP_c \text{ кг} : m n_{\text{м}} \left(\frac{b}{a}\right)_{\text{м}} \text{ м}^3 : m n_{\text{к}} \left(\frac{b}{a}\right)_{\text{к}} \text{ м}^3.$$

Водная добавка.

При установленном водоцементном отношении $\frac{w}{e}$ по весу в замесе должно содержаться воды не более

$$W = mP_c \frac{w}{c} \text{ кг (л)}.$$

В случае применения инертных материалов, содержащих в себе влагу, водная добавка в замес должна быть уменьшена на количество влаги, уже находящейся в инертных материалах.

Если влажность мелкой и крупной инертных добавок по весу соответственно $\beta_{\text{м}}\%$ и $\beta_{\text{к}}\%$, то количество влаги, содержащейся в инертных, рассчитанных на замес будет:

$$W_o = m \left(n_{\text{м}} P_{\text{м}} \frac{\beta_{\text{м}}}{100} + n_{\text{к}} P_{\text{к}} \frac{\beta_{\text{к}}}{100} \right) (\text{кг}) \text{ л}.$$

Здесь $P_{\text{м}}$ и $P_{\text{к}}$ —объемный вес материалов в стандартном состоянии. Таким образом, водная добавка в замес будет:

$$W' = W - W_o = m \left[P_c \frac{w}{c} - \left(n_{\text{м}} P_{\text{м}} \frac{\beta_{\text{м}}}{100} + n_{\text{к}} P_{\text{к}} \frac{\beta_{\text{к}}}{100} \right) \right] \text{ л}.$$

Определение расхода материала на куб. метр бетона.

Если для данного номинального состава известен выход бетона, то может быть подсчитан расход материалов на куб. метр бетона.

В этом случае, очевидно,

$$m_o = \frac{V}{\delta(1+n_{\text{м}}+n_{\text{к}})} = \frac{1}{\delta(1+n_{\text{м}}+n_{\text{к}})} \text{ куб. м}$$

и следовательно, расход цемента на куб. метр бетона равен m_o куб. метров или при рабочем весе цемента $P_c \text{ кг/м}^3$,

$$C = m_o P_c \text{ кг/м}^3 \text{ бет.} = \frac{P_c}{\delta(1+n_{\text{м}}+n_{\text{к}})} \text{ кг/м}^3 \text{ бетона.}$$

Расход же инертных материалов на кубометр бетона выразится:

мелкая инертная добавка

$$A = \frac{n_{\text{м}}}{\delta(1+n_{\text{м}}+n_{\text{к}})} \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ м}^3 \text{ бетона,}$$

крупная инертная добавка

$$B = \frac{n_{\text{к}}}{\delta(1+n_{\text{м}}+n_{\text{к}})} \text{ м}^3 \text{ на } 1 \text{ м}^3 \text{ бетона.}$$

Для данного номинального состава, независимо от консистенции и модуля крупности смеси инертных добавок (применяющихся в практике) расход цемента может приниматься постоянным.

Для ориентировочных соображений приводим таблицу расхода цемента на кубометр бетона для различных номинальных составов (по средним данным Механической Лаборатории ЛИИПС).

Номинальный состав (при рыхлом состоянии инертных)	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7	1:8
Расход цемента на 1 куб. м бетона, в кг	500	400	320	270	230	210

Приведем пример подсчета расхода материалов на кубометр бетона с предварительным определением выхода бетона путем опыта.

Пример.

Пусть объемный вес гравия в стандартном состоянии $P_g = 1600$ г/л, и песка — $P_s = 1780$ г/л. Объемный вес цемента $P_c = 1300$ г/л.

Определение выхода бетона опытом.

При изготовлении пробного кубика размерами $20 \times 20 \times 20$ см (объем — 8 л) взято на замес для изготовления бетона номинального состава (см. гл. V) — 1:2, 1:4,5

цемента	2 л или	2,60 кг
песка	4,2 л "	7,48 "
гравия	9,0 л "	14,40 "
Всего	15,2 л или	24,48 кг

Воды при $\frac{w}{c} = 0,71$ $2,60 \times 0,71 = 1,65$ кг

Полный вес замеса $P_o = 26,13$ кг.

Вес пустой формы — 18,2 кг.

Вес формы наполненной бетоном — 38,42 кг.

Таким образом, вес свежизготовленного кубика бетона, объемом 8 л, $P = 38,42 - 18,2 = 20,22$ кг, а объем бетона всего замеса найдется из пропорции:

$$\frac{V_o'}{8} = \frac{26,13}{20,22}, \text{ откуда } V_o' = 8 \cdot \frac{26,13}{20,22} = 10,34 \text{ л.}$$

Выход бетона

$$\delta = \frac{V_o'}{v_c + v_m + v_s} = \frac{10,34}{15,2} = 0,68$$

На кубический метр бетона материалов потребуется:

$$\text{цемента: } C = \frac{1300}{0,68(1 + 6,6)} = 251 \text{ кг.}$$

инертных (в сухом рыхлом состоянии):

$$\text{песка: } A = \frac{2,1}{0,68(1 + 6,6)} = 0,406 \text{ м}^3$$

$$\text{гравия: } B = \frac{4,5}{0,68(1 + 6,6)} = 0,870 \text{ м}^3$$

Воды (без учета влаги инертных) $W = 251 \times 0,71 = 178$ кг(л).

VI. РАСЧЕТ ПОЛЕВОГО СОСТАВА.

Перед началом бетонных работ по полученному путем подбора номинальному составу и характеристикам инертных материалов должен быть рассчитан полевой (рабочий) состав бетона.

Для этого непосредственно перед началом работ должны быть произведены нижеследующие операции:

1. В случае объемной дозировки цемента допустимой лишь в исключительных случаях, при небольшом объеме бетонных работ, проверяется объемный вес его в „рабочем“ состоянии. Если таковой (p'_c) отличается от веса (p_c), принятого при проектировании, то надлежит изменить номинальный состав бетона до пропорции.

$$1:n \frac{p'_c}{p_c}$$

2. При объемной дозировке инертных материалов устанавливаются переходные коэффициенты их от стандартного состояния к естественному.

3. По получении переходных коэффициентов определяется рабочая пропорция материала по объему.

Если номинальный состав бетона

$$1:n_m:n_k$$

то полевой состав будет

$$1:n_m \frac{b}{a^m} : n_k \frac{b}{a^k}$$

где $\frac{b}{a^m}$ и $\frac{b}{a^k}$ — переходные коэффициенты для мелкой и крупной инертных добавок.

4. Исходя из емкости бетономешалки производится расчет материалов необходимых для одного замеса.

5. Одновременно с установлением переходных коэффициентов определяется состояние влажности инертных материалов.

6. По определенному водоцементному отношению и количеству цемента, рассчитанного на один замес, устанавливается предельное количество влаги, которое может содержаться в замесе.

7. Определяется количество влаги в литрах, содержащейся в инертных материалах, рассчитанных на один замес.

8. Определяется предельное наибольшее количество воды, которое может быть введено в замес, представляющее объем воды, определенный в пункте 6, уменьшенный за счет количества влаги, содержащейся в инертных, определенного по пункту 7.

9. Консистенция бетона с подобранным составом проверяется опытом с конусом.

VII. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА ЕЖЕДНЕВНОГО КОНТРОЛЯ НА МЕСТЕ РАБОТЫ.

Из изложенного выше очевидно, что получение бетона качества однородного и удовлетворяющего всем требованиям, которые ему предъявлены, достижимо только в том случае; если при производстве бетонных работ будет налажен повседневный контроль качества бетона.

При этом следует придерживаться следующих дополнительных указаний.

Контроль качества составных частей бетона.

1. Всякую новую партию цемента, прибывающую на склад строительства, необходимо сосредоточить в одном месте склада и особо отметить, напр., нанесением на бочках метки: „N партии, дата прибытия на строительство“, либо установкой дощечки с соответствующей надписью у места склада партии.

Немедленно по прибытии цемент желательно подвергнуть испытаниям, после чего только его можно допустить в дело.

Совершенно аналогично надлежит поступать и с каждой новой партией инертных добавок.

2. Влажность инертных материалов должна контролироваться не менее одного раза в сутки. Изменение состояния влажности должно быть учтено соответственным уменьшением или увеличением водной добавки.

3. Переходный коэффициент от стандартного состояния инертных материалов к полевому устанавливается перед началом работ и в дальнейшем проверяется в зависимости от состояния погоды и иных внешних обстоятельств, могущих повлиять на изменение его, но во всяком случае должно быть не меньше одного определения на каждые 250 куб. м мелкой и крупной.

4. Контрольные определения гранулометрического состава инертных материалов должны производиться в зависимости от возможного изменения их, но во всяком случае должно быть не менее одного определения на каждые 500 куб. м агрегатов.

5. Перед употреблением в дело инертных материалов новой поставки должно быть произведено полное исследование их и, в случае значительного отличия гранулометрического состава их, номинальный состав должен быть прокорректирован.

Контроль дозировки бетона.

6. Отмеривание воды при изготовлении бетона должно быть организовано таким образом, чтобы изменение водной добавки ни в коем случае не могло быть произведено без ведома лица, ответственного за качество бетона. Желательно применять автоматическое отмеривание воды.

В случае невозможности применения автомата наблюдение за отмериванием воды должно быть поручено ответственному лицу.

7. Цемент надлежит дозировать по весу. При этом объемный вес следует всегда принимать один и тот же и равный $\rho_c = 1300 \text{ г/л}$.

Требование, предъявляемое в отношении контроля отмеривания воды, должно распространяться и на дозировку цемента.

В исключительном случае применения дозировки по объему надлежит перед употреблением в дело каждой новой партии цемента определять его объемный вес в „рабочем“ состоянии и в случае, если таковой (ρ'_c) отличается от веса (ρ_c), принятого при проектировании состава бетона, надлежит изменить номинальный состав до пропорции:

$$1:n \frac{\rho'_c}{\rho_c}$$

8. Мерные ящики, или тачки, которыми отмериваются инертные добавки в замес должны быть вымерены до производства работ. Желательно такое устройство мерных приспособлений, чтобы в случае изменения бетона внутренний объем, хотя бы некоторых из них, мог бы быть сравнительно легко изменен. В крайнем случае требуется нанесение краской на внутренней боковой поверхности тачки черты, показывающей уровень до которого следует наполнять ее.

Кроме того ~~также~~ следует перенумеровать и на внешней поверхности их сделать крупные надписи: „песок“, „гравий“, показывающие для отмеривания и подвозки какого материала они предназначены.

Контроль изготовления бетона.

9. У бетономешалок, изготавливающей бетонную массу следует на видном месте вывесить доску, на которой должна быть крупно написана дозировка составных частей бетона на данный день и водоцементное отношение.

10. Весь состав бетонщиков и мастеров, обслуживающих бетономешалку и подвозку к ней материалов должен быть надлежаще проинструктирован.

11. При перемешивании бетонной массы в бетоньерке необходимо вести наблюдения за тем, чтобы длительность перемешивания была достаточной и, в среднем, не менее $1\frac{1}{2}$ —2 минут на замес. Следует помнить, что чрезмерное уменьшение длительности перемешивания может повлечь за собою нежелательное понижение качества бетона и требует соответствующей компенсации в смысле увеличения содержания в бетоне цемента.

12. Консистенция бетонной массы должна проверяться не менее двух раз в день у места укладки бетона способом принятым на строительстве, напр., по осадке конуса Абрамса.

Для определения консистенции берется бетон, идущий в дело.

Кроме того в начале работы с бетоном нового состава желательно ставить контрольную поверку консистенции бетона одного и того же замеса у бетономешалки и у места укладки, а также освидетельствовать бетонную массу, прибывшую к месту укладки, с целью выяснения влияния транспортировки на однородность консистенции по всей массе замеса и в случае обнаружения расслоения бетонной массы принять меры к устранению этого явления либо дополнительным примешиванием у места укладки либо даже изменением пропорции составных частей бетона.

В случае, если обнаруживается понижение пластичности бетонной массы при доставке к месту укладки, что затрудняет последнюю, то следует установить причины, вызывающие это явление. Одной из причин может быть высокая температура воздуха при бетонировании (жаркая, солнечная погода), вызывающая испарение воды из бетонной массы, а также при достаточно длительной транспортировке способствующая и химическим взаимодействиям воды и цемента в бетоне. В этом случае, с известной осторожностью, можно пойти на некоторое повышение водоцементного фактора при изготовлении бетона.

Необходимо иметь в виду, что в каждом частном случае требуется тщательно проанализировать то или иное явление, которое обнаруживается в процессе производства бетона, и принимать необходимые меры для устранения возможного вредного действия их, сообразуясь с изложенным выше о влиянии на качества бетона различных факторов.

Контроль прочности бетона.

13. Для контроля прочности на каждые 200 куб. м изготавливаемого бетона затворяются три кубика из бетонной массы, идущей в дело, по правилам, указанным ниже.

Образцы нумеруются и заносятся в специальную ведомость контрольных кубиков с указанием даты изготовления, характеристики бетона и составных материалов и наименованием части сооружения, из которой взята проба бетона.

14. Рекомендуются изготавливать бетонные балочки размером $15 \times 15 \times 120$ см из бетона, идущего в дело, и испытывать их на месте работ.

Испытание может быть произведено при помощи специального пресса для изгиба балок (имеющегося в некоторых полевых лабораториях) или непосредственной нагрузкой.

Схема испытания балок:

пролет $l = 100$ см; груз прикладывается посредине балки, в расстоянии 50 см от опор; балка устанавливается на опорах боковой поверхностью вверх (действие груза перпендикулярно укладке бетона).

Коэффициент, связывающий временное сопротивление бетонной балки изгибу со временным сопротивлением раздроблению, рекомендуется устанавливать предварительными опытами.

Временное сопротивление изгибу подсчитывается по формуле $R'_e = \frac{M}{W}$, что при данных размерах балки и схемы нагрузки соответствует:

$$R'_e = \frac{2P}{45} \text{ кг/см}^2, \text{ где } P - \text{груз в кг.}$$

15. Все данные контроля должны фиксироваться соответствующими записями. Для этого надлежит вести журналы: контроля качества составляющих и бетона, проектирования составов бетона и дневник полевого контроля.

В дневнике полевого контроля следует отмечать все обстоятельства, сопровождавшие производство бетонных работ, кои могут иметь отражение на качестве бетона.

Обязательно должна вестись запись температуры воздуха и состояния погоды.

VIII. ЗАТВОРЕНИЕ БЕТОННЫХ КУБИКОВ И БАЛОЧЕК.

Размеры кубиков выбираются $20 \times 20 \times 20$ см при применении инертных добавок, в состав которых не входят зерна крупнее 50 мм.

При применении более крупных добавок следует изготавливать бетонные кубики размером $30 \times 30 \times 30$ см.

Для изготовления бетонных кубиков желательно применение разборных металлических форм. В случае же применения деревянных форм должны быть приняты меры против разбухания дерева и коробления стенок форм (рекомендуется внутреннюю поверхность форм обивать листовым железом).

При изготовлении кубиков из пластичного бетона, последний укладывается в формы в три слоя при размерах кубиков $30 \times 30 \times 30$ см и в два слоя—при размерах кубиков $20 \times 20 \times 20$ см. Каждый слой должен уплотняться штыкованием стержнем диаметром около 1,5 см.

Штыкование слоев желательно производить по следующему способу.

После укладки слоя бетона в форму, поверх нее укладывается деревянная рама с натянутой на ней металлической сеткой с квадратными отверстиями размерами в свету в 30 мм (см. фиг. 17).

Протыкание стержнем слоя бетона производится через каждую ячейку сетки, при чем через ячейки, расположенные по контуру формы, протыкание производится по два раза, а через остальные по одному разу.

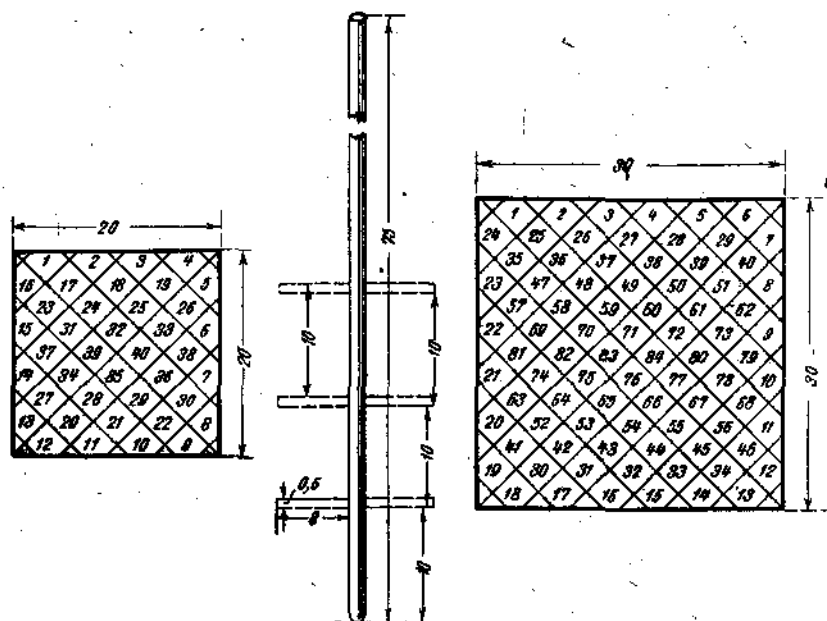
Стержень для штыкования должен иметь передвижную поперечину (упор), который при протыкании слоя, устанавливается таким образом, чтобы препятствовать, упираясь в сетку, проникать стержню в нижележащий слой.

Кубики должны быть освобождены от боковых стенок через 48 часов после изготовления при пластичном бетоне. После этого они остаются еще 24 часа на нижней доске и затем снимаются осторожно с нее.

Хранение кубиков должно производиться во влажных опилках или во влажном песке.

На каждом кубике ставится его номер, номер партии (из трех кубиков) и дата изготовления.

Примечание. Кубики отправляются в лабораторию для производства испытания не ранее четырех дней после изготовления, упакованными в деревянные ящики, выложенные слоем влажных опилок. С каждой партией кубиков высылается специальная ведомость, в которой точно должны быть указаны характеристики материалов, дозировка бетона, консистенция, срок изготовления, нумерация кубиков.



Фиг. 17.

Изготовление балочек из пластичного и литого бетона производится аналогично изготовлению кубиков. Укладка бетона производится в два слоя, при чем каждый слой тщательно штыкуется металлическим стержнем. Должно особенно обращать внимание на штыкование частей балки, прилежащих к стенкам формы. После укладки бетона верхняя поверхность выравнивается металлической линейкой.

Снятие боковых стенок производится через 48 часов после изготовления. Во избежание повреждения балки при переносах рекомендуется хранить ее в опилках на месте изготовления.

IX. ПОЛЕВАЯ ЛАБОРАТОРИЯ И ЕЕ ОБОРУДОВАНИЕ.

При более или менее значительном объеме бетонных работ необходима организация на строительстве почтовой лаборатории, обслуживающим персоналом которой, и производятся все исследования и организуется контроль качества бетонных работ.

Союзстроем ВСНХ СССР предусматривается обязательная организация таких лабораторий на всех постройках, которые укладывают в строительный сезон около 2000 м³ бетона и более.

В целях надлежащей постановки контроля лаборатория должна быть обеспечена надлежащим штатом в составе: лаборанта — заведующего лабораторией и 2—3 обученных необходимым операциям контроля рабочих. В случае ведения работ в 2—3 смены необходим помощник лаборанта и соответственно несколько больше рабочих-мастеров.

Подчиняясь административно производителю работ, в своей работе лаборатория должна руководствоваться указаниями отдела рационализации строительства или соответствующих научно-исследовательских институтов и их филиалов.

Для возможности производства исследований на строительстве должно быть отведено соответствующее помещение под лабораторию площадью около 30—40 м², удовлетворяющее следующим требованиям:

а) помещение лаборатории должно быть расположено возможно ближе к месту изготовления бетонной массы и к складам материалов,

б) оно должно быть достаточно сухим, светлым и хорошо вентилируемым,

в) помещение должно быть оборудовано очагом и устроено таким образом, чтобы возможно было бы поддержание в нем ровной температуры в пределах +15—20° Ц.

Производство анализов и проектирования составов бетона требует наличия в лаборатории, примерно, следующего элементарного оборудования.

1. Стандартный набор сит для просеивания агрегатов с отверстиями в стороне в мм: 0,15; 0,30; 0,60; 1,20; 2,50; 5,0; 10,0; 20,0; 40,0; 80,0;	1 комплект (с ящиками для хранения).
2. Дополнительные сита: для инертных материалов в мм: 25; 30; 50	1 комплект
" цементного сита в 64 отв./см ²	1 " "
3. Игла Вика с измерителем густоты теста Тетмейера и никелированным конусом со стеклом (желательно)	1 " "
4. Прибор Микхалиса для испытания на разрыв с приспособлением для испытания на перелом (желательно), или специальный австрийский прибор для испытания цементных балочек	1 штука
5. Металлическая или фарфоровая сферическая чашка для затворения цементного теста	1 комплект
6. Ручная доплаточка с округленными углами	1 " "
7. Сушильный шкаф (термостат) (желательно)	1 " "
8. Примус	1 " "
9. Металлическая чашка (кастрюля) для пробы кипячением	1 " "
10. Подготовка для одновременного кипячения 3 лепешек в кастрюле	1 " "
11. Ванна металлическая размерами 50 × 30 × 10 см ³	1 " "
12. Колпак с остекленным верхом (для хранения цементных образцов)	1 " "
13. Термометры: комнатный	1 " "
до 150°С	1 " "
14. Мензурки емкостью в: 1000 см ³	1 " "
" " " 500 "	2 " "
" " " 250 "	4 " "
" " " 100 "	2 " "
" " " 50 "	2 " "
" " " 10 "	2 " "
15. Весы до 5 кг с точностью до 1 г с разновесками и гирями 1—500 г	1 штука
1 кг 1 шт. }	1 комплект
16. Весы до 20 кг и гири 2 " 2 " }	
5 " 2 " }	
17. Конус (из оцинкованного железа) для определения консистенции	1 штука
18. Столик Скрамтаева для определения консистенции	1 " "
19. Сокор ручной	1 " "
20. Лопаты ручные для приготовления бетона	2 " "
21. Формы металлические (или деревянные) размерами 20 × 20 × 20 или 30 × 30 × 30 см для изготовления бетонных кубиков не менее	6 " "
22. Брезент или парусина для перемешивания инертных (при отборе проб)	1 " "

1. Медные цилиндрические сосуды емкостью 1 л.	1	штука
" " " " " 2 "	1	"
" " " " " 5 "	1	"
" " " " " 10 "	1	"
" " " " " 20 "	1	"
24. Стержень для штыкования 15 мм.	2	"
25. Трамбовки для изготовления кубиков и трамбования бетона	1	"
26. Сетка для трамбования кубиков пластичного бетона.	2	"
27. Металлические (или деревянные) линейки длиной 40 см.	2	"
28. Складной метр.	1	"
29. Стекланные сосуды емкостью в: 5 л.	2	"
" " " " " 3 "	2	"
30. Стекланные пластинки размером, примерно, 10 × 10 см.	12	"
31. Металлические листы размером 50 × 50 × 0,5 см.	2	"
32. Стекланные воронки.	3	"
33. Тарелки металлические.	12	"
34. Столовые ножи.	2	"
35. Перочный нож.	1	"
36. Ведро.	2	"
37. Окоренки.	2	"
38. Бидон для керосина.	1	"
39. Жестяные воронки.	2	"
40. Щетка мягкая для чистки сит.	1	"
41. " твердая для чистки оборудования.	1	"
42. Едкий натр ($Na OH$).	}	В потреб- ном коли- честве
43. Танин.		
44. Алкоголь.		
45. Хлористый барий ($Ba Cl_2$).		
46. Сернистый натр ($Na_2 SO_4$).		
47. Сернистый магний ($Mg SO_4$).		
48. Вазелин.		
49. Лакмусовая бумага.	}	1 штука
50. Машинное масло, тряпки.		
51. Противень для сушки песка.		

Литература.

1. Проф. Н. М. Беляев.—Метод подбора состава бетона. 4-е изд. Вып. № 1 Инст. Бет. 1930 г.
2. Инструкция по контролю над качеством бетона в производстве работ. Изд. офици. Инст. Бет. 1930 г.
3. Проектирование и контроль составов бетона. 1929 г. Библи. по америк. и европ. стр-ва. вып. III. Гостехиздат.
4. Ф. Ф. Мак-Миллан.—Катехизис по бетону. 1929 г.
5. Инж. Гайе.—Литой бетон и применение его в строительстве. Гостехиздат.
6. Проф. Залигер. Железобетон. Статья проф. Каменцева (в приложении).
7. Б. Г. Скрамтаев.—Бетон. Вып. № 4 Инст. Бет. 1931 г.
8. Труды Закавказ. Инст. Сооруж., вып. 1, "Бетон".
9. "Бетонирование на морозе", вып. № 5 Инст. Бет. 1931 г.
10. Эмпергер, Ф.—Энциклопедия железобетонного строительства. Т. III. Гостехиздат. 1930 г.
11. Проф. Киреевко.—Бетонные работы на морозе. Сообщ. 21. Госуд. Инст. Сооруж. 1931 г.
12. Сборник ЛИИПС № 103. 1929 г.
13. Ч. Хилл.—Зимние строительные работы. Изд. Техника Управления 1931 г.
14. Бетонирование в зимнее время. Врем. технич. условия на произв. бетонных и ж.-бетонных работ в зимнее время. Изд. офици. Союзстроя ВСНХ СССР 1931 г.
15. Клейндогель, А. О. проф. Строительный контроль в бетонном и ж.-бетонном строительстве, Гостехиздат 1930 г.
16. Строительные материалы. Сборник статей изд. ОНТС в Ленинграде. Гостехиздат. 1931 г.
17. Инж. Спецлер и архит. Меле.—Контроль над возведением сооружений из литого бетона. Гостехиздат 1929 г.
18. Проф. Житкевич.—Бетон и бетонные работы.
19. Проф. В. В. Эвальд.—Строительные материалы. Изд. 1931 г.



ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение	3
I. Составляющие бетона и контроль их качества	6
II. Зависимости механических и физических свойств бетона	26
III. Понятие о номинальном составе	36
IV. Построение кривых основных зависимостей	37
V. Проектирование состава бетона	40
VI. Расчет полевого состава	49
VII. Организация производства ежедневного контроля на месте работ	—
VIII. Затворение бетонных кубиков и балочек	52
IX. Полевая лаборатория и ее оборудование	53
Литература	55

41358



Время сдачи в набор 17 Сентября. — Количество листов 34. — Подписано к печати 2 Октября. — Стат. формат бумаги 740 × 1050. — Кол. бумажных листов 17500. — Общее кол. знаков на бумажном листе 117.920.

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАУЧНО - ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ БЕТОНОВ**

ВЫПУЩЕНЫ ИЗ ПЕЧАТИ:

1. Инструкция по контролю качества бетона в производстве. Ц. 30 к.
2. Выпуск 1. Н. М. Беляев—Метод подбора состава бетона. Ц. 2 р. 50 к.
3. Выпуск 2. И. П. Александрин—Строительный контроль качества бетона. Ц. 75 к.
4. Выпуск 3. Теплый бетон. Ц. 1 р. 00 к.
 - 1) И. П. Александрин—Исследование механических свойств теплового бетона.
 - 2) Б. Г. Скрамтаев—Элементарная теория проектирования теплого бетона.
 - 3) Б. Г. Скрамтаев—Временная инструкция по изготовлению шлако-бетонных камней для стен.
5. Выпуск 4. Исследование строительных качеств бетона. Б. Г. Скрамтаев—Бетон. Ц. 1 р. 50 к.
6. Выпуск 5. Бетонирование на морозе. Ц. 1 р. 75 к.
 - 1) Д. А. Плотников—Производство бетонных работ зимою.
 - 2) Инструкция по производству бетонных работ на плотине Днепростроя.
 - 3) П. В. Тарасов—Влияние низких температур на бетон.
 - 4) Я. Е. Иохельсон—Влияние подогрева воды на строительные качества бетона.
 - 5) И. Ф. Ястребов—Влияние температуры окружающей среды на прочность бетона.
7. Выпуск 7. Бетон с добавкой си-штоффа. Сложные растворы. Ц. 1 р. 50 к.
 - 1) Д. Ф. Парфенов—Исследование бетона из цемента с добавкой си-штоффа.
 - 2) И. М. Френкель—Исследование известково-трепелных растворов.
 - 3) Б. Г. Скрамтаев—Инструкция о применении новых сложных растворов для кладки.
 - 4) Б. В. Олешкевич и С. Вейсман—Оценка пуццоланических свойств пуццолановых и мелко-помольных добавок.
8. Выпуск 8. Исследование свойств прессованного бетона. Ц. 1 р.
9. Выпуск 9. Новые шлаковые цементы и их применение в строительстве. Ц. 2 р.

НАХОДЯТСЯ В ПЕЧАТИ:

10. Выпуск 6. Влияние производственных факторов на свойства бетона.
 - 1) З. С. Мохов—Влияние производственных факторов на свойства бетона.
 - 2) И. М. Френкель—Влияние гранулометрических составов инертных на свойства бетона.
 - 3) И. М. Пушкин—Опыт сравнения расходов цемента в бетонах на гравий и на щебень.
11. Выпуск 10. Бетон в сооружениях Днепростроя.
12. Выпуск 11. Работы лаборатории Уральского института сооружения.
13. Выпуск 12. Выбор допускаемых напряжений и марок бетона.
14. Выпуск 13. Бесцементные бетоны.

СКЛАД ИЗДАНИЙ:

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО „МЕЖДУНАРОДНАЯ КНИГА“

МОСКВА — Кузнецкий мост, 18.

ЛЕНИНГРАД — пр. Володарского, 53-А.