

Пр 193

ДЕП

2 5 75 83
0 32 5 (0) - 2 (2)

Проф. В. Г. СКРАМТАЕВ

БЕТОНЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ



Госстройиздат

1933

2 75 13
0 12 8(6) 2(1)

Пр 193

2003

ДЕ

Проф. В. Г. СКРАТОВ

БЕТОНЫ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ



ГОССТРОЙИЗДАТ

1933

Проф. Б. Г. СКРАМТАЕВ

443

Б Е Т О Н Ы

РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ

510145
510145 / 1

РЕСПУБЛИКАНСКАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
БИБЛИОТЕКА

ИКТИ СССР



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ И СУДОСТРОЕНИЯ
МОСКВА ГОССТРОЙИЗДАТ ЛЕНИНГРАД

1933

DECLARATION

Введение.....	6
Глава I. Вязущие материалы, применяемые для бетонов	
§ 1. Цементы заводского изготовления.....	8
А. Общая характеристика.....	—
В. Характеристика новых цементов.....	9
1 и 2. Шлако-портланд-цемент и шлаковые цементы.....	18
Понижение активности цементов при хранении.....	14
Быстрота твердения различных цементов.....	16
О применении шлаковых цементов в железобетоне.....	17
3. Глинистый цемент.....	18
4. Известково-золистый и известково-шлаковый цементы.....	19
5. Пуццолановые портланд-цементы.....	20
6. Гипсовые цементы.....	21
7. Роман-цемент.....	25
8. Глиноземистый цемент.....	28
В. Основные качества цементов.....	29
1. Сроки схватывания.....	—
2. Тонкость помола.....	20
3. Равномерность изменения объема.....	21
4. Прочность на разрыв и сжатие.....	23
Г. Методы испытания цементов.....	23
1. Лабораторные методы.....	25
2. Построечные методы.....	28
Д. Химический состав цементов.....	29
§ 2. Цементы, изготовляемые на стройках.....	29

Глава II. Бетон обычный

§ 3.	Общие сведения	82
	Методы количественной оценки основных свойств бетона и материалов для него	85
§ 4.	Влияние содержания воды в бетоне при укладке на его прочность	86
§ 5.	Пластичность и удобообрабатываемость бетона	42
	2. Влияние консистенции на прочность бетона	47
§ 6.	Мелкие и крупные добавки для обычного бетона	51
	1. Крупность зерен и зернивый состав	—
	2. Влияние различных песков на прочность цементного раствора и бетона	61
	3. » загрязнения » » »	65
	4. » различных пород щебня на прочность бетона	69
	5. » крупности и гранулометрического состава щебня на прочность бетона	71
	6. Влияние величины поверхности зерен и их формы на прочность и пластичность бетона	73
	7. Химический состав добавок	74
	8. Упрощенные методы исследования добавок	75
§ 7.	Вода для затворения бетона и как среда для бетонных сооружений	79
§ 8.	Проектирование составов бетона	82
	1-й способ — подбор составов при помощи опытов	—
	2-й » — назначение составов по готовым таблицам	87
§ 9.	Повышение прочности бетона со временем	96

§ 10.	Экономика проектирования составов бетона	98
11.	Выбор расчетного срока твердения бетона и расчетной прочности	101
12.	Опытная проверка результатов проектирования	103
§ 13.	Контроль составов бетона на постройках	108
1.	Общие положения	—
2.	Контроль консистенции	—
3.	» материалов	—
4.	» дозирования	110
5.	» прочности	111
6.	Полевой метод контроля водоцементного фактора и влажности	112
7.	Необходимые принадлежности для лаборатории по бетону	117
§ 14.	Особые свойства бетона	118
1.	Плотность бетона и водонепроницаемость	119
2.	Отношение бетона к химическим влияниям	120
3.	Воздухонепроницаемость	122
4.	Звукопроводность	123
5.	Извешиваемость	—
6.	Отклонение к электрич. току	—
7.	Огнестойкость	—
8.	Морозоустойчивость	124
9.	Усадка бетона	—
10.	Изменение упругости бетона	125

Глава III. Бетон для зимних работ

§ 15.	Остывание бетона (расчет)	127
§ 16.	Проектирование составов бетона для зимних работ	132
1.	Выбор водоцементного фактора	134
2.	Формулы для выбора водоцементного фактора при зимних работах	136

Глава IV. Теплый бетон

§ 17.	Общие сведения	138
§ 18.	Заполнители для теплого бетона	141
1.	Шлаки котельные	—
2.	» металлургические	150
3.	Керамзит	153
§ 19.	Проектирование составов теплого бетона	159
1.	Обычный теплый бетон	161
2.	Крупнопористый теплый бетон	163

Глава V. Специальные бетоны

1.	Аэрокретовый бетон	167
2.	Асбестовый	—
3.	Асфальтовый	—
4.	Вибрационный	—
5.	Возбужденный	168
6.	Газовый	—
7.	Деревобетон	—
8.	Кислотоупорный бетон	—
9.	Кристаллит-бетон	169
10.	Легкий бетон	—
11.	Ледяной бетон	—
12.	Мелкопористый бетон	—
13.	Пемзовый бетон	—
14.	Пенобетон	—
15.	Порозитовый бетон	—
16.	Продорит-бетон	170
17.	Солдлит-бетон	171
18.	Сталбетон	—
19.	Твердый бетон	—
20.	Терокрет-бетон	—

21. Транспорт-бетон	171
22. Ячеистый бетон	—
23. Шпала-бетон	172
24. Центробежный бетон	—
25. Бетон с кирпичным щебнем	—
26. Бетон гидротехнический	174
27. Бетон дорожный	175

Приложения

1. Упрощенные правила для выбора составов различных бетонов	176
2. Журнал полевой лаборатории	178
3. Литература	181
4. Стандарты на вяжущие материалы	188
5. " " песок, гравий и щебень	210
6. " " щебень диатомовый и трепальный	220
7. О паспортизации цемента	223

ВВЕДЕНИЕ

Старое понятие о бетоне как о материале, состоящем только из определенных 4 составляющих: портланд-цемента, песка, гравия (или щебня) и воды, в настоящее время значительно расширено. К этому привело применение в бетоне кроме портланд-цемента различных новых цементов (см. ниже), извести и гидравлических добавок, кроме обычных твердых и тяжелых инертных материалов — различных легких заполнителей и неинертных добавок.

Расширяя понятие о бетоне, возможно определить, какое место в строительстве занимает этот материал во всех его разновидностях. Точное определение количества бетона, укладываемого ежегодно в сооружения, строящиеся в СССР, дать не представляется возможным. Приблизительный подсчет для 1932 г. дает объем бетона от 4 до 6 млн. м^3 . Эта цифра не является преувеличенной, так как ежегодно в СССР построек с объемом бетонной кладки свыше 100 тыс. м^3 насчитываются десятки, а с объемом свыше 10 тыс. м^3 — сотни.

По стоимости бетон в 1931 г. составлял около 10% от общей стоимости всего строительства.

В связи с вытекающей из постановления XVII Конференции ВКП(б) заменой железобетоном металлических сооружений, удельный вес бетона среди других материалов в ближайшие годы значительно повысится, и этот материал будет играть ведущую роль в строительстве второй пятилетки. Применение бетонов различных видов будет иметь место не только в капитальных сильно нагруженных железобетонных конструкциях промышленных зданий (где железобетон имеет большие преимущества перед металлом), но и в строительстве стен зданий в виде теплого (легкого) бетона, где раньше обычный бетон вовсе не находил себе применения в силу своих плохих теплотехнических свойств. Кроме этого громадная область применения бетона имеется в гидротехническом и дорожном строительстве и в различных специальных случаях (например постройка хранилищ для различных материалов).

Соответственно изложенному возможно разделить бетоны на следующие 4 вида:

- 1) бетон обычный (иногда называемый „холодным“) для несущих железобетонных конструкций, главным качеством которого яв-

дается высокая прочность; тот же обычный бетон, но более низкой прочности для фундаментов и полов;

2) бетон легкий (или „теплый“) для стен зданий и отчасти для перекрытий, от которого требуются не особенно высокая прочность, но малый объемный вес и малая теплопроводность;

3) бетон гидротехнический, который должен быть плотным, водонепроницаемым и морозоустойчивым (это справедливо и в применении к дорожному бетону);

4) бетоны специальные, отвечающие различным особым требованиям: химической стойкости, малой истираемости, особой легкости и пр.

Ввиду того что все разнообразные виды бетонов объединены общими качествами вяжущих материалов, общим понятием о зерновом составе заполнителей и сходной технологией, явилась мысль собрать все данные о бетонах в одной книге. В результате написана настоящая работа.

Так как обычные бетоны больше всего изучены, то им преимущественно и уделено в данной работе внимание. В ней рассматриваются только разновидности бетонов, основанные на вяжущих материалах неорганического происхождения; различные асфальтовые и смоляные бетоны составляют довольно обособленную группу и здесь не рассматриваются.

Отделы бетона обычного и теплого составлены главным образом на основании новейших достижений советской техники. Наоборот, глава о специальных бетонах, имеющих еще малое распространение в СССР, изложена в большей части по заграничным данным.

ГЛАВА I

ВЯЖУЩИЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ БЕТОНОВ

§ 1. Цементы заводского изготовления

А. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Главнейшими вяжущими материалами для ответственных бетонов являются различные цементы заводского изготовления. Из них наиболее старый и известный — портланд-цемент. Наряду с значительным расширением производства портланд-цемента в СССР недавно введено чрезвычайно ценное разделение портланд-цемента на 3 сорта: нормальный (обозначается марка 0), повышенный (марка 00) и высокосортный (000). Для производства портланд-цементов имеется достаточно широкая сырьевая база (мергель, известняк, мел, глина). Однако в силу довольно сложного технологического процесса изготовления портланд-цемента (подготовка сырья, обжиг при высокой температуре, тонкий помол твердого продукта) стоимость этого цемента высока. Кроме того портланд-цемент обладает вторым недостатком — подвергается разрушению под действием различных химических влияний. Эти две причины вызвали в жизни производство и применение нескольких видов новых цементов с более простой технологией, более дешевых, также с широкой сырьевой базой, отчасти с большей химической стойкостью.

Основными видами новых цементов, которые будут иметь широкое применение в строительстве второй пятилетки, являются:

- 1) шлако-портланд-цемент,
- 2) шлаковые (бесклинкерные) цементы и известково-шлаковый цемент,
- 3) глинистый цемент,
- 4) изоль-цемент,
- 5) пудцолоновый цемент,
- 6) гипсовые цементы,
- 7) роман-цемент,
- 8) глиноземистый цемент.

В. ХАРАКТЕРИСТИКА НОВЫХ ЦЕМЕНТОВ

План 1932 г. намечал выпуск в Союзе различных видов заводских цементов в следующем количестве:

1. Норм. портланд-цемента марки 0	8,6 млн. боч. или 28,5% плана
2. Повышенного портланд-цемента марки 00	14,4 » » » 47,7% »
3. Высокосортного портланд-цемента марки 000	8,9 » » » 12,9% »
4. Пудцолонового и трассового портланд-цемента	1,15 » » » 3,8% »
5. Шлако-портланд-цемента	2,15 » » » 7,1% »

Итого 30,2 млн. боч. или 100 % плана

Остальные цементы как материалы местного значения в план не вошли.

1 и 2. Шлако-портланд-цемент и шлаковые цементы

Можно различать три вида цементов, основанных на доменном гранулированном шлаке, могущих приблизиться по своим качествам к портландцементу:

- 1-й вид цемента — требующие добавки цементного клинкера,
2-й » » — бесклинкерные,
3-й » » — получаемые путем совместного перемола извести
и шлака.

Цементы, требующие добавки клинкера, в Германии делятся еще на две группы:

- а) с содержанием клинкера 30—70%,
б) > > менее 30% (обычно 15%).

Соответственно этому в нашем стандарте шлако-портланд-цементом признаются цементы с содержанием шлака не более 85%.

В Германии производство шлако-портланд-цемента с добавкой 30% шлака началось с 1892 г., причем клинкер изготовлялся также из шлака в смеси с известью (1:1). Там же с 1906 г. началось производство доменного (шлакового) цемента с добавкой 70 и 85% шлака. Производство цемента с применением шлаков в Германии развивалось до кризиса чрезвычайно быстро: так, в 1927 г. производство портланд-цемента составляло 87% от производства довоенного времени, а шлако-портланд-цемента — 284%.

В САСШ производство цементов из шлаков невелико, возможно, в силу противодействия портланд-цементной ассоциации.

В СССР выработка шлакопортландских цементов поставлена на заводах Краматорском, Днепропетровском и при ст. Путепровод (с добавкой 30—40% флинкера), в РСФСР — на Косогорском заводе в Туле.

Состав шлаков, идущих как добавка к цементному клинкеру, должен удовлетворять основному гидромодулю $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} > 1$; шлаки заводов СССР удовлетворяют этому условию, но в силу больших колебаний химического состава требуют различной добавки клинкера¹.

Вполне возможно изготовление необходимой добавки клинкера также из шлака с добавлением извести: является целесообразным использовать для производства клинкера шлаки, бедные известью, оставляя более основные шлаки как необходимую добавку к цементу. Однако при этом в шлаке, идущем на клинкер, не должно содержаться MgO более количества, допустимого для портланд-цемента. По данным Кюля и др. повышенное содержание MgO в шлаках (до 20%), идущих не на клинкер, а как добавка при перемоле клинкера, не является вредным, однако это утверждение является спорным.

Вследствие дешевизны основного продукта — доменного шлака (около

¹ По германским нормам на цементы (проект, опубликованный в «Zement-Kalender», 1932) шлаки для цементов должны удовлетворять несколько иному составу:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO} + \frac{1}{8} \text{Al}_2\text{O}_3}{\text{SiO}_2 + \frac{2}{3} \text{Al}_2\text{O}_3} \geq 1.$$

Содержание закиси марганца (MnO) должно быть не более 5%.

60 коп. за тонну), себестоимость шлако-портланд-цемента (с добавкой 30% клинкера) значительно ниже портландского цемента.

Так например, по Краматорскому заводу по приблизительным данным 1931 г. себестоимость 1 бочки портланд-цемента (без тары) — 3 р. 64 к., себестоимость 1 бочки шлако-портланд-цемента (без тары) — 2 р. 66 к., т. е. удешевление составляет 27%.

Однако нельзя сказать, что это удешевление является реальным для строительства, так как испытания показывают, что существующий шлако-портланд-цемент обладает активностью ниже портландского (среднего между марками 0 и 00) примерно в 1,30—1,40 раза, что вызывает перерасход цемента для получения требуемой прочности бетона примерно на 30%.

Учитывая это обстоятельство, а также медленность твердения шлако-портланд-цемента, остается заключить, что применение его в строительстве в современном состоянии не является особо выгодным.

Существовавшие опасения о вредном влиянии шлако-портланд-цемента должны на железо в смысле ржавления железа и отсутствия сцепления быть отброшены на основании полученных результатов в опытах украинского Института сооружений¹ и друг.

Повышение эффективности применения шлако-портланд-цементов в строительстве может идти тремя путями:

а) Удешевлением цемента за счет сосредоточения производства клинкера в районах, богатых дешевым известняком и топливом, и устройства помольных отделений при металлургических заводах и в центрах потребления цемента (предложение инж. Бутыма). Удешевление может быть достигнуто кроме того производством шлако-портланд-цемента с уменьшенной добавкой клинкера (до 15%, но с применением катализаторов — предложение Института силикатов), а также переходом к бесклинкерным цементам.

б) Повышением активности цемента путем обогащения шлаков (добавкой в расплавленный шлак извести, глинозема и др. по способу Кюля, Грюна, Пассова и др.). По данным Грюна при надлежащем подборе сырья и высокого обжига и помощи вполне возможно получение высокодействующих шлако-портланд-цементов. Особо следует отметить открытый в 1920 г. шведским инж. Венерстромом способ получения высокодействующего, шлакового, электроплавленного цемента (получая клинкер сплавлением извести со шлаком, даже кислым).

в) Одновременным удешевлением цемента и повышением его активности, что возможно при производстве бесклинкерных цементов на обогащенных шлаках, а также — при наличии дешевой электроэнергии — по вышеуказанному способу Венерстрома.

Во всяком случае при дальнейшем усовершенствовании шлакового цемента вполне возможно рассчитывать на реальное удешевление цемента в размере до 30% (учитывая снижение себестоимости и активность цемента).

Производство цементов из обогащенных шлаков, высокосортных и электроплавненных шлаковых цементов еще не начато в СССР, почему не имеется данных для более подробного освещения их свойств.

Имеются только подробные данные об опытных партиях трех бесклинкерных цементов, изготовленных и применяемых в 1930—1931 гг. на Украине и обязанных своим происхождением работам, с одной стороны, проф. Будникова и инж. Лежнева, с другой стороны, акад. Орлова, инж. Терещенко

¹ См. книгу „Новые шлаковые цементы“, 1931.

и инж. Френкель (Институт силикатов). Ввиду того что проблема получения бесклинкерных цементов является чрезвычайно важной, сведения об указанных новых цементах излагаются ниже довольно подробно.

Опытные партии цементов, подвергшиеся исследованию украинского Института сооружений, были выпущены в нижеследующих количествах в 1930 и 1931 гг.:

а) цемент Будникова — на Краматорском заводе в количестве около 200 вагонов;

б) цемент Орлова (бесклинкерный) — на Днепропетровском заводе в количестве 4 вагонов;

в) цемент Орлова (с клинкером) — на Краматорском заводе в количестве 350 вагонов.

При исследованиях производилось сравнение новых цементов с порландскими и шлакопорландскими цементами украинских и других заводов; последние представляют собою переходную ступень от старых видов цементов к новым.

Исследования производились путем как лабораторных испытаний цементов и бетонов, так и путем постановки наблюдений на постройках.

Заводские испытания лаборатории Краматорского завода приводятся по всем четырем маркам цемента Будникова, входившим в состав опытной партии.

Эти марки различались количеством и составом добавок, а именно:

		Проценты	
Марка А — I	содержала	шлака доменн. гран.	92
		ангидрита	8
» А — II	»	шлака	91
		мела	2
» А — III	»	ангидрита	7
(переходная к клинкерному цементу)		шлака	83—85
		клинкера	10
		ангидрита	7—5
Марка А — IV	содержала	шлака	90
		доломита	5
		ангидрита	5

Таблица 1

Результаты испытаний

Марка цемента	Начало схватыва- ния	Конец схватыва- ния	Точность измерения		Прочность на разрыв чистого цемента через 28 дн.	Прочность на разрыв			Прочность на сжатие		
			остаток на сите 900 отв. в %	остаток на сите 4900 отв. в %		Раствор 1:3					
						4 дн.	7 дн.	28 дн.	4 дн.	7 дн.	28 дн.
A — I	5 ч. 20 м.	9 ч. — м.	1,1	17,7	32,3	14,6	17,7	21	91	105	139
A — II	5 » 40 »	9 » — »	0,9	17,7	29,6	15,3	19,1	22,8	100	105	137
A — III	5 » 25 »	11 » 40 »	0,0	17,5	42,7	13,2	14,1	18	106	125	153
A — IV	5 » 10 »	10 » — »	0,9	14,7	52	13,2	16,3	22	87	125	209

Пробы на постоянство объема цементы выдерживали.

Приведенные цифры являются средними арифметическими из 5—6 испытаний различных партий каждой марки.

Для сравнения приводим соответствующие цифры, требуемые ОСТ 5036 на порланд-цемент марки О.

Таблица 3

Марка цемента	Начало схватыва- ния	Конец схватыва- ния	Тонкость помола		Прочность на разрыв чистого цемента через 28 дн.	Прочность на разрыв			Прочность на сжатие		
			остаток на сите 900 отв. в %	остаток на сите 1800 отв. в %		Раствор 1:3					
						4 дн.	7 дн.	28 дн.	4 дн.	7 дн.	28 дн.
Ост 5036	не ранее 30 мин.	не позже 12 час.	не более 2%	не более 25%	85	10	12	16	70	100	160

Кроме того сопоставим данные испытаний новых цементов с результатами испытаний обычных цементов украинских заводов (берутся средние цифры за 1929/30 г.).

Таблица 3

Марка цемента	Начало схватывания	Конец схватывания	Тонкость помола		Прочность на разрыв чистого цемента через 28 дней	Прочность на разрыв			Прочность на сжатие		
			остаток на сите 900 отв. в %	остаток на сите 1800 отв. в %		Раствор 1:3					
						4 дн.	7 дн.	28 дн.	4 дн.	7 дн.	28 дн.
Амвросиевск. (вра- щат. печ.)	3 ч.	5 ч.	—	15	—	19	21	26	—	251	308
Амвросиевск. (шахтных печ.)	3 »	5 »	—	16	—	20	21	25	—	217	262
Шлако-портланд- цемент Крамат. зав. (80% клин. + 70% шлака)	5 »	11 »	—	21	—	10	14	21	53	82	159
Шлако-портланд Днепропетров- ского (80% клин. + + 70% шлака)	2 »	7 »	—	13	—	12	16	20	—	—	181

Выводы из этих сопоставлений следующие:

1. Цементы Будникова дают результаты немного ниже стандарта. Цемент марки А-IV превышает стандарт 5036.

2. Цементы Будникова по своей активности и срокам схватывания стоят наряду с краматорским шлакопортландским цементом, но выгодно отличаются от него более быстрым нарастанием прочности. Цемент марки А-IV превышает шлакопортландский цемент Краматорского завода.

Колебания прочностей (активностей) при цементах Будникова немногим больше, чем при портландских цементах, что объясняется применением крайне разнородных шлаков; колебания 7-дневных прочностей значительно выше при цементах Будникова.

По цементу Орлова имеются испытания средних проб от двух партий: заводские и лабораторные украинского Института сооружений.

Результаты испытаний 1-й партии цемента в заводской лаборатории Мариупольского цементного завода следующие:

Начало схватывания	через 3 ч.	15 м.
Конец	» 6 »	05 »
Сопротивление разрыву цем. с песк. 1:3	» 7 дн.	16,4 кг/см ²
» » чист. цем.	» 28 »	22,7 »
» » »	» 7 »	32,8 »
» » »	» 28 »	44 »
» сжатия цем. с песк. 1:3	» 28 »	250 »

Эта же партия, испытанная двукратно через 2 месяца после выпуска заводом в лаборатории Института сооружений, дала результаты гораздо более низкие, а именно:

Начало схватывания	через 9 час.	
Конец	» 16 »	
Сопротивление разрыву чист. цем.	через 7 дн. от 14 до	18
» » »	» 28 »	15 » 19
» » цем. с песк. 1:3	» 7 »	8 » 10
» » »	» 28 »	12 » 19
» сжатия	» 28 »	100

Сомнения в правильности последних испытаний опровергаются результатами испытаний бетона, давшими также весьма низкие результаты.

Большое понижение прочности в сравнении с заводским испытанием может быть объяснено быстрым падением активности цемента при хранении его даже в надлежащем помещении (как это имело место в данном случае).

2-я партия цемента Орлова была испытана на заводе и в лаборатории украинского Института сооружений немедленно по прибытии ее в Харьков. Результаты испытаний в Институте показали только небольшое падение прочности, а именно:

Таблица 4

Испытание	Начало схватывания	Конец схватывания	Сопр. разрыву чистого цемента		Сопр. разрыву цемента с песком 1:3		Сопр. сжатию цемента с песком 1:3	
			7 дн.	28 дн.	7 дн.	28 дн.	7 дн.	28 дн.
Завод	3 ч. 15 м.	7 ч. 40 м.	31,6	36,0	16,8	21,4	150	183
Украинский Институт сооружений	—	—	28,4	33,8	13,0	20,1	130	186

Однако в дальнейшем эта же средняя проба цемента при хранении показывала заметное падение прочности (за исключением разрыва чистого цемента). Пробы на постоянство объема цемент Орлова выдержал.

Понижение активности цементов при хранении

После выяснения значительного понижения активности цемента Орлова 1-й партии при хранении его на складе постройки в мешках были поставлены специальные испытания 2-й партии этого цемента через каждые 2—3 недели, причем испытывалась все время одна и та же средняя проба цемента, хранившаяся в лаборатории в мешке.

Наиболее интересны цифры активности цемента (т. е. временного сопротивления сжатию через 7 и 28 дней), взятые из опытов инж. М. Я. Латаша.

Таблица 5

Время изготовления образцов	R_7 кг/см ²	R_{28} кг/см ²
19 октября	130	186
9 ноября	121	134
17 ноября	91	143

Заметим, что понижение прочности при хранении не является характерной особенностью только данного цемента. Так например, проф. Клейнгогель указывает, что даже для портланд-цемента при хранении его в мешках в сараях установлено в среднем следующее понижение прочности в процентах:

при хранении 3 месяца	— 20
» » 6 »	— 30
» » 1 год	— 40
» » 2 года	— 55

Однако в данном цемента это свойство выражено более резко.

Быстрота твердения различных цемента

Для строительных целей представляет большую выгоду быстрое твердение цемента (а следовательно и бетонов) в первые дни после затворения для уменьшения сроков снятия опалубки, для уменьшения продолжительности периода защиты бетона от остывания при зимних работах и т. д.

Так, по техническим условиям снятие опалубки допускается при достижении бетоном 50% проектной прочности, снятие подмостей — при 70%.

Для сравнительной оценки различных старых и новых шлаковых цементов приводится таблица активности цементов (т. е. временного сопротивления сжатию) в возрасте 4, 7 и 28 дней при хранении в нормальных условиях.

При составлении таблицы активность цемента в возрасте 28 дней принята за 100%.

Таблица 6

№ по пор.	Название цемента	Активность		
		4 дни	7 дней	28 дней
		в процентах		
1	Новороссийского завода «Пролетарий»	50	72	100
2	Новороссийского завода «Октябрь»	56	69	100
3	Амвросиевского (врачат. печей)	нет свед.	82	100
4	Амвросиевского (шахтных печей)	нет свед.	83	100
5	Краматорский шлако-портланд-цемент	34	51	100
6	Бески-керный цемент Буденкова	65	75	100
7		73	76	100
8		69	82	100
9		58	83	100
10	Бескикерный цемент Орлова	34	75	100

Эти же данные приведены в графике рис. 1.

Таким образом наилучшие результаты даст обычный шлако-портланд-цемент (краматорский), цементы Будникова не уступают портландским, наконец цемент Орлова занимает промежуточное место между портландским и шлако-портланд-цементами.

Ввиду выяснившихся недостатков бесклинкерного цемента Орлова в 1931 г. была произведена новая опытная партия этого шлакового цемента

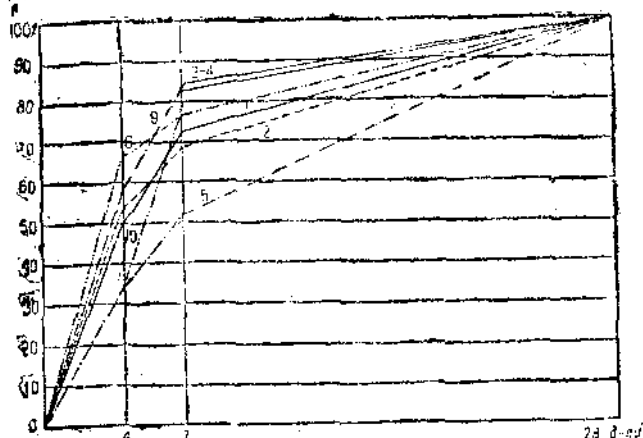


Рис. 1. Нарастание прочности различных цементов.

с теми же добавками, которые указаны выше, но с добавлением кроме того 15% клинкера.

Результаты испытаний по данным Краматорского цементного завода (протокол за август 1931 г.) следующие:

Начало схватывания от 1 до 5 час.,
Конец » 3 » 9 »

Равномерностью изменения объема обладает.
Тонкость помола:

остаток на сите 900 отв.	0,5	— 1,5%
» » » 4900 »	13	— 19%
прочность на разрыв 1:0 через 28 дн.	30	— 51 кг/см ²
» » » 1:3 » » »	18	— 28 »
» на сжатие 1:3 через 7 дн.	58	— 187 »
» » » 1:3 » 28 »	100	— 225 »

Таким образом по средней прочности на сжатие новый цемент соответствует обычному портланд-цементу (марка 0—160 кг/см²), но не выгодно отличается от последнего высокими колебаниями прочности.

В силу получения металлургией СССР ежегодно громадного количества шлаков (в 1932 г. около 6 млн. т), производство шлако-портланд-цемента и шлаковых цементов (последних после их усовершенствования, обогащения шлаков, устранения неравномерности качества продукции и паспортизации шлаков) получат широкое развитие, давая весьма дешевый продукт.

О применении шлаковых бесклинкерных цементов в железобетоне

В опытах обнаружилось ясно выраженное ржавление железа, различное по интенсивности в зависимости от состава бетона, пластичности, срока и способа хранения бетона.

Опыты показали, что ржавление увеличивается при применении более тощих составов, при жестком бетоне, при сухом хранении и при увеличении продолжительности хранения образцов.

Ввиду выяснившихся обстоятельств необходимо считать, что применение двух новых исследованных шлаковых цементов в железобетоне без принятия особых мер не представляется возможным.

Для новых цементов остается область чисто бетонных конструкций, в частности новая обширная область строительства стен из легкого (теплого) бетона.

Применение новых цементов в железобетоне возможно при условии предварительного покрытия арматуры тестом из портланд-цемента. Однако это мероприятие на практике осуществить весьма трудно.

Улучшение свойств новых цементов в отношении их влияния на железо намечается в перспективе при обогащении шлаков, если при этом попутно будет удаляться большое количество серы, как указывается акад. Орловым.

Бесклинкерный шлаковый цемент требует обязательного применения основного доменного гранулированного шлака; кислый шлак может быть использован для производства известково-шлаковых цементов, получаемых путем совместного перемола шлака с гашеной известью.

3. Глинт-цемент

Производство начинается в 1932 г. в широком масштабе. Указания на то, что при слабом обжиге главнейшая составная часть глины — каолинит — распадается на свободные окислы (кремнезем и глинозем), обладающие гидравлическими свойствами, были сделаны еще Лепателеем в 1887 г. Исследования инж. Антоновича и проф. Кинда показали, что глины, обожженные при температуре 700—800° С, в смеси с известью-пушонкой дают цемент, приближающийся по своим качествам к портланд-цементу марки 0 и значительно превосходящий роман-цемент.

Глинт-цемент является гидравлическим вяжущим веществом, однако в первые 3—4 дня после затвердения он не должен подвергаться действию воды. При хранении в особо сухой среде дает понижение прочности.

В силу простоты производства глинт-цемент предполагается получать в 2 раза дешевле, чем портланд-цемент. Неограниченная сырьевая база еще больше увеличивает значение этого цемента.

Примерный состав глинт-цемента: глины пластичной (с содержанием глинозема не менее 14—15%) 20—25%; извести-пушонки свежее обожженной и недавно погашенной — 73%; гипса — 2%. Глинт-цемент хорошего качества получается также из мергелистых глин. Готовый глинт-цемент должен возможно быстрее употребляться в дело во избежание падения активности, наблюдавшегося в некоторых партиях цемента.

В зависимости от состава глины глинт-цемент давал в опытах временное сопротивление сжатию через 28 дней, колеблющееся в очень

нированных пределах (от 50 до 200 кг/см² в растворе 1:3), цвет цемента от серого до красного.

Отличается малым объемным весом: в рыхлом состоянии объемный вес 0,7—0,8 кг/л (у обычного цемента 1,2—1,3 кг/л), что необходимо учитывать при дозировке.

Глинистый цемент более всего пригоден для бетона малой пластичности и для бетона трамбованного, так как получение пластичного бетона на глинистом цементе требует большого количества воды, понижающей прочность бетона.

Пропаривание бетонных изделий на глинистом цементе при обычном давлении дает прекрасные результаты (в некоторых опытах пропаривание в течение 6 час. давало прочность нормального 28-дневного бетона).

4. Известково-золистый и известково-шлаковый цементы

Новый вид гидравлического вяжущего материала, получаемый путем совместного тонкого перемола золы каменного (бурого) угля или горючих сланцев, сжигаемых на колосниковых решетках или доменного гранулированного шлака, с известью-пушонкой.

Весовая дозировка известия составляет 20—50%. Прочность ниже портланд-цемента от 2 до 10 раз. Отличается весьма медленным твердением. Этот материал является местным дешевым цементом, могущим изготовляться и на самых постройках. Производство намечается в Московской обл. и в Ленинграде на базе золы топлива, сжигаемого в электростанциях, и на Урале на основе доменных шлаков.

5. Пуццолановые портланд-цементы

Получаются путем совместного перемола портланд-цемента с естественными или искусственными кислыми гидравлическими добавками (колич. добавки более 10%, обычно 30—40%).

Примерами могут служить:

трассовый цемент Новороссийского завода

трепальный „ Мальцевского

цемент с добавкой синтофа — зав. им. Воровского в Ленинграде.

Эти цементы по прочности мало отличаются от портланд-цементов (марки 0 и 00) и в этом отношении могут их свободно заменять, если это экономически выгодно.

Их ценным свойством является стойкость против выщелачивающего действия проточных вод, а также и разрушающего действия морских и минерализованных вод.

Как известно, обычный портланд-цемент (марки 0, 00 и 000) является весьма мало стойким при действии на него некоторых жидкостей и соляных растворов (например конденсационных, морских и минерализованных вод и пр.), которые действуют на него весьма разрушающим образом.

В большинстве случаев разрушение бетона происходит при участии содержащейся в нем свободной или слабо связанной известии. Известь, являющаяся сильной щелочью, вытесняет из солей, действующих на цемент, основания, а образует с кислотами новые известковые соли; при этом цемент увеличивается в объеме или образуются легко растворимые соли, следствием чего в обоих случаях является разрушение бетона.

Пуццолановые портланд-цементы и шлако-портланд-цементы как более

бедные известью, часть которой связывается так называемой «активной кремнекислотой» гидравлической добавки, являются в силу этого значительно более стойкими в случае вредного влияния различных вод на сооружение, а поэтому замена ими здесь обычных портланд-цементов наиболее целесообразна.

Об изменении свойств бетона в связи с применением пуццоланового цемента вместо портландского имеются следующие данные из опытов проф. С. И. Дружинина¹:

1. Бетон делается более вязким.
2. Прочность на сжатие в кубиках меньше, чем у портландского, а в призмах (отношение высоты к стороне 3:1) больше; это объясняется смазывающей способностью пуццоланового цемента, уменьшающей влияние поверхностей трения у кубиков.
3. Модуль упругости на 10% выше при сжатии, а при растяжении меньше.
4. Сцепление с железом в среднем на 30% меньше, чем у портланд-цемента в месячном возрасте, а в 2-месячном это сглаживается, и разница составляет только 10%.

5. Вес литра пуццолан. цемента около	1000 г
» » портл. » »	1150 »
Выход теста портл. » »	0,64—0,71 »
» » пуццолан. » »	0,78—0,93 »

Эти данные частично подтверждаются, а частично нарушаются опытами Гутмана², указывающими на меньшую прочность, сцепление и меньший модуль упругости пуццоланового цемента, чем портландского.

6. Гипсовые цементы

Наряду с применением для бетонов гидравлического гипса, обжигаемого при 1000—1100° С, большой интерес представляет для строительства ангидритовый цемент, а также портланд-цемент, получаемый из гипса путно с производством серной кислоты.

Ангидритовый цемент получается путем слабого обжига (600—700° С) гипса и тонкого размала его с добавлением катализаторов (например 1,0% кислого сернокислого натрия NaHSO_4).

Взаимел искусственного получения безводного гипса может быть применен природный ангидрит (CaSO_4) без обжига, перемалываемый с соответствующими добавками.

Добавки могут вводиться и после перемола в воду для затворения раствора. Полученный продукт является дешевым, дает прочность на растяжение выше портланд-цемента марки 0, а на сжатие немного ниже, но не является вполне гидравлическим вяжущим материалом, так как при хранении в воде дает прочность ниже, чем на воздухе (примерно в $1\frac{1}{2}$ раза).

7. Роман-цемент

Роман-цемент — слабое гидравлическое вяжущее вещество, дающее при твердении в воде более низкие результаты, чем на воздухе. Получается путем умеренного обжига и тонкого размала мергелей. Отличается невя-

¹ «Вюлетень Ловис» № 29—30 за 1932 г.

² «Tonindustrie-Zeitung», 173 (12), 1932 г.

сокой прочностью; некоторые сорта обладают быстрым схватыванием, что необходимо проверять, является дешевым продуктом, но производится в малом количестве вследствие невысоких качеств.

8. Глиноземистый цемент

Особый сорт цемента — быстро твердеющий, имеющий также название «бокситовый».

Получается путем сплавления смеси материалов, богатых глиноземом (бокситы), с известью и тонкого размола.

Изготовление глиноземистого цемента было начато только перед войной 1914 г. одной французской фирмой для военных целей. В настоящее время он производится в целом ряде стран, в СССР производство начинается в 1932 г.

В силу особого своего свойства — получения высокой прочности в весьма короткий срок — глиноземистый цемент имеет применение как для военных целей, так и во всех случаях, когда требуется быстрое получение прочности (быстрая распалубка, зимнее бетонирование) или получение бетона особо высокой прочности (например мосты или перекрытия больших пролетов).

Глиноземистый цемент уже через сутки дает высокую прочность.

По новейшим немецким данным глиноземистый цемент лучших сортов дает следующую прочность на сжатие при нормальном водяном хранении:

через 1 сутки	675 кг/см ²
» 2 »	730 »
» 7 »	850 »
» 28 »	950 »

На растяжение — примерно в 20 раз меньше. В наших опытных партиях такая высокая прочность еще не достигнута.

По стандарту требуется через 28 дней на сжатие 400 кг/см².

Имеет нормальные сроки схватывания.

Отличается весьма тонким помолом; остаток на сите 4900 отв. 5 — 10%.

Средний химический состав:

CaO — 40%; Al₂O₃ — 40%; SiO₂ — 10%; Fe₂O₃ — 10%.

Главной составной частью является CaO · Al₂O₃ в отличие от портланд-цемента.

Дороже портланд-цемента в 2—3 раза.

Сильно отличается от портланд-цемента тем, что химически связывает около 40% воды (почти в 2 раза больше, чем портланд-цемент).

Консистенция бетона, изготовленного на глинист-цементе, быстро падает, поэтому необходимо скорейшее употребление его в дело.

ОСТ № 3709.

Особые свойства:

1. Стойкость против химических влияний.
2. Выделение большого количества тепла. Первые 5 часов после затворения необходимо иметь бетон подогретым, так как развитие тепла начинается после 5 часов.
3. Малая чувствительность к низким температурам: например конец

схватывания при обычном цементе при $t^{\circ} + 2 - 4^{\circ} \text{C}$ замедляется в $2\frac{1}{2}$ раза, при глиноземистом — только на 25%.

Обыкновенный цемент, твердея при температуре $+ 5^{\circ} \text{C}$, достигает к 7 дням 50% нормальной прочности, глиноземистый — 85%.

4. При обычном хранении на складе не теряет своей активности (опыт имелся до $1\frac{1}{2}$ лет).

Ограниченность размера производства в СССР обусловлена малой пока разведанностью сырьевой базой; в СССР бокситы пока открыты в Ленинградской обл. (г. Тихвин) и на Урале.

В. ОСНОВНЫЕ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТОВ

Цементы должны обладать целым рядом перечисляемых ниже определенных качеств:

1. Сроки схватывания

Для того чтобы иметь возможность уложить бетон в дело до начала схватывания во избежание утраты части активных свойств цемента, необходим определенный срок от затворения до начала схватывания; таким сроком установлено:

для портланд-цемента, шлако-портланд-цемента и пуццолановых портланд-цементов — не менее 30 мин.,

для ангидритовых цементов — 30 мин.,

для роман-цемента — не менее 15 мин.

Однако для новых, медленно схватывающихся цементов приходится уже устанавливать не минимальный, а максимальный срок для начала схватывания. Так, для известково-золяного цемента начало схватывания должно быть не позднее 10 час.

В целях быстрейшей распалубки бетона, возможности ходьбы по бетону и пр. установлены максимальные сроки для конца схватывания, а именно: для портланд-цементов, шлако-портланд-цементов, пуццолановых портланд-цементов и ангидритовых цементов не позднее 12 час., роман-цемента и известково-золяного цемента — не позднее 24 час.

2. Тонкость помола

Большая тонкость помола вводит в химическую реакцию с водой большую массу цемента, повышая тем прочностью затвердевшего цемента.

Таблица 7

Цементы	Остатки на ситах в % не более	
	сито 900 отв.	1400 отв.
Портланд-цемент:	%	%
1) марки 0 и 00 . . .	2	25
2) марки 000	1	15
Пуццолановый	2	20
Шлако-портланд-цемент	2	20
Роман-цемент	15	—
Изв.-золяный цемент	5	50
Ангидритовый	—	20

Кроме того с увеличением тонкости помола повышается пластичность растворов и бетонов. В последнее время отмечено еще свойство цементов с тонким помолом давать высокую прочность в первые дни, а в последующие сроки — весьма малое повышение прочности. В силу этих причин определение тонкости помола становится весьма необходимым.

Тонкость помола, установленная стандартами, приведена в табл. 7.

При научно-исследовательских

работах определяются остатки на ситах п с 6400 п с 10 000 отв. на 1 см², а также производится отмучивание (седиментация) для определения и более мелких фракций.

3. Равномерность изменения объема

Все цемнты должны обладать равномерностью изменения объема; до известной степени это качество определяется в лабораториях тем, что цемент не должен давать трещин или искривлений при выдерживании цементных лепешек в воде, кипятке или парах-кипящей воды (рис. 3).

При этом небольшие трещины, не доходящие до краев лепешки (рис. 2), не считаются вредными. Неравномерность изменения объема может вызываться большим содержанием извести, гипса или окиси магния.

В последнее время при выпуске с цементных заводов невыдержанных цементов они зачастую обнаруживают при испытании неравномерность



Рис. 2. Трещины усыхания (допустимы).

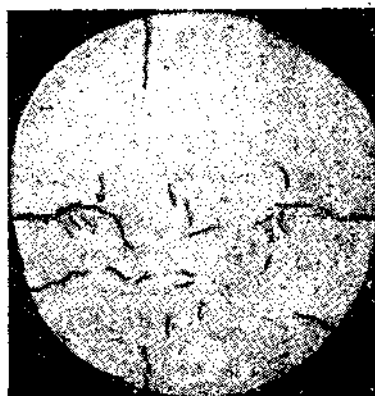


Рис. 3. Неравномерность изменения объема цемента (недопустимо).

изменения объема; особенно часто наблюдается растрескивание лепешек при испытании горячих проб. Хотя растрескиванию цементных лепешек не всегда соответствует появление трещин в бетоне вследствие сопротивления скелета из инертных материалов, но прочность бетона безусловно сильно понижается, почему цементы с таким свойством не могут быть допущены для работ. Простейшая мера исправления сводится к выдерживанию цемента на складе; иногда удается исправить цемент добавлением хлористого кальция в количестве до 4% от веса цемента, что необходимо проверять предварительным опытом.

4. Прочность на разрыв и на сжатие

В СССР принято оценивать главное строительное качество цементов — прочность — по временному сопротивлению сжатию. Это является логичным, так как соответствует работе бетона в сооружениях также на сжатие. Испытанию прочности цементов на разрыв у нас уделяется меньшее внимание, хотя само испытание значительно проще, чем на сжатие. В САСШ и Англии наоборот, — наибольшее внимание уделяется испытанию

8. *On the*

[illegible]

Примечания к табл. 1. Для цементов туфляночных и шлакостружанинских жидкостно-хранившие образцов на полугуте не один суточ (согласно нормам), а 2—3 суток.
2. Качество цемента для фотона при подборе составов определяется по прочности на сжатие (по так называемой «активности» или еще термин скорее халачче — «качества хранения прочности»). Как видно из таблицы затвердевший и прочный материал относится в первую очередь, например для возраста 28 дней до 10 МПа. Таким образом для изготовления бетона того же качества имеется возможность выбора цемента.
3. Технические условия на используемые материалы даны в соответствующих стандартах (ОСТ). Подраздел ценник О. 90 м ООО—ОСТ 3636; туфляночный — ПШДНО—ТУФЛЯНЦЕНКЕ—74И, розлив—ценник—74Аз, известня гипс—туфляночествен—74Вд, гипсоцементный цемент—37Юв, шлаковый (бессиликатерный) цемент, известково-шлаковом и известково-шлангом, клинкер—цемент, аттестат—центни—проекти стандартном.

цементов на разрыв. Образцы у нас хранятся первые сутки или несколько суток в зависимости от рода цемента во влажном воздухе, а затем в воде до испытания.

Здесь помещается сводная таблица 8 норм для прочности всех употребительных цементов по утвержденным стандартам и проектам стандартов. Там же для сравнения помещены данные о гидравлической извести.

Качество цементов, выпускаемых заводами СССР, в настоящее время может характеризоваться приближительными средними данными табл. 9 об активности цементов (прочность на сжатие и растяжение) за 1-ю половину 1932 г. по заводским лабораторным испытаниям.

Как видно из таблицы 9 большинство заводов выпускает уже в настоящее время цемент повышенный (марки 00). Однако это получается только по средним данным за $\frac{1}{3}$ года; в действительности благодаря большим колебаниям в активности цемента отдельные партии его зачастую переходят в группу цемента нормального (марки 0). Поэтому особенно необходим контроль активности каждой отдельной партии цемента на самой постройке.

Г. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЯ ЦЕМЕНТОВ

1. Лабораторные методы

Подробно методы механических испытаний изложены в стандарте ОСТ 5157 на портланд-цемент. Методы химического анализа — ОСТ 79.

Испытания всех других видов цементов производятся одинаково с портланд-цементом за исключением небольших изменений в роман-цементе, изоль-цементе, алгидрит-цементе и др., вызываемых особенностями их схватывания и твердения (см. ОСТ на них в «Приложении»).

Точное соблюдение установленных методов испытаний является обязательным условием для получения правильной оценки качества цемента. Даже небольшие отклонения от правил, допускаемые некоторыми лабораториями (неточное отмеривание воды, грубое определение нормальной густоты, пониженная или повышенная температура и т. п.), вызывают сильные расхождения в результатах испытаний. Так, опыт, сделанный в 1930 г. по испытанию цемента из одной бочки в различных лабораториях СССР, показал расхождения в активности цемента (прочности на сжатие) от 145 до 250 кг/см².

Заграничные методы испытаний цементов отличаются от наших и между собой во многом, почему цифры, характеризующие прочность, являются несравнимыми без введения каких-либо переходных коэффициентов.

Так например в Европе (на континенте) применяется для испытаний песок, проходящий через сита с размером отверстий 1—1,5 мм; в САСШ и Англии — с размером 0,57—0,85 мм.

При определении нормальной густоты цементного теста в Европе (континент) цилиндрик должен не дойти до дна на 5—7 мм, в САСШ — на 10 мм, следовательно там изготавливается цементное тесто более плотное. В Англии не дается метода измерения пластичности; она устанавливается на глаз.

Нормальная влажность раствора в САСШ и Англии не определяется, как у нас, опытом (при трамбовании), а берется в зависимости от нормальной густоты теста, например в Англии по формуле:

$$\text{нормальная густота раствора} = \frac{1}{4} p + 2,5\%$$

где p — нормальная густота теста в процентах.

№ по пор.	Название завода и цемента	Прочность в кг/см²					в какой мере отличается
		на разрыв ра- створа 1:3 через		на сжатие раствора 1:3 через			
		7 дней	28 дней	4 дня	7 дней	28 дней	
1	Бакинский	17,4	22,8	150	220	388	00
2	Грузинский (высокосортн.)	21,5	23,4	239	292	358	00
3	Харьковский (шлако-портланд-цемент)	11,9	18,3	—	110	193	шлак
4	«Красный строитель» (портланд-це- мент ст. Москвор.)	17,6	24,6	—	186	281	00
5	«Коммунар» (высокосортн.), Вольск.	23,1	25,8	225	304	377	00
6	«Пролетарий» (трассовый), Новорос- сийск	26,5	33	235	280	430	000
7	«Пролетарий» (высокосортн.), Ново- российск	31,3	32,9	322	426	528	000
8	«Пролетарий» (портланд-цемент) . . .	19	25,8	205	243	333	00
9	Таузский (портланд-цемент)	18,7	21,9	180	236	341	00
10	«Октябрь» (портланд-цемент)	12,69	18,5	138	164	237	0
11	«Октябрь» (высокосортный)	23,2	26,1	222	315	328	00
12	Невьянский (портланд-цемент)	20,2	26,2	211	249	426	000
13	Амвросиевский № 4	14,5	20	—	160	230	0
14	Амвросиевский № 1	17	22	—	197	285	00
15	Амвросиевский № 2	17	21	—	172	242	0
16	Амвросиевский № 3	17,3	22,2	—	206	276	00
17	«Спартак» (портл.-цем. ст. Соприново)	19	22,2	157	215	276	00
18	Ленинградский	16,9	19,3	14,6	195	250	0
19	«Большевик» (Вольск)	17	23,2	178	229	318	00
20	Краматорский (портланд-цемент) . . .	20,4	23,1	179	208	293	00
21	Краматорский (шлако-портланд) . . .	17	23	—	123	180	шлак
22	«Победа Октября» (ст. Гайдук) . . .	15	21	218	246	323	00
23	Щуровский	21	25	215	256	356	00
24	Катав-Ивановский	21	24	182	234	310	00
25	Подольский	16	20	134	169	270	00
26	Яшкинский (портланд-цемент)	17,1	18,9	198	219	276	00
27	«Путепровод» (шлако-портланд) . . .	12,5	18,7	78	103	164	0
28	«Комсомолец» (Вольск)	28	29	313	393	477	000
29	Косогорский (шлако-портланд, Тула)	13	17	—	99	160	шлак
30	Сенгилеевский	24	31	207	331	460	000
31	Первомайский (Новороссийск)	13	20	163	190	272	00
32	«Красный Октябрь» (Вольск)	19	23	185	230	330	00
33	Брянский	17	23	130	166	255	0
34	Брянский (пуццолановый)	17	29	—	158	270	00

В САСШ нормальная влажность раствора определяется по таблице, например:

10,5%	при	нормальной	густоте	24 ³ / ₀ .
11,5%	«	«	«	30 ⁰ / ₀ .

Растворы изготавливаются более влажными, чем у нас, и укладываются в формы пальцами.

В САСШ и Англии испытаний цемента на сжатие не производят. Восьмерки при испытании на разрыв имеют среднюю часть прямую (без выкружек) площадью $6,45 \text{ см}^2$ (у нас 5 см^2).

Перечень различий в методике испытаний, например в работе трамбования, сроке снятия форм и т. п., можно было бы продолжить, но примеров, приведенных выше, достаточно для того, чтобы объяснить большую разницу в результатах испытаний цементов различными странами.

При испытании например одной и той же пробы цемента в СССР и Германии обнаружилось, что результаты немецкие выше наших не менее чем в $1\frac{1}{2}$ раза. Изложенные обстоятельства затрудняют непосредственное пользование цифрами зарубежных исследовательских данных о цементах и бетоне.

2. Построечные методы

Определение по стандарту главной характеристики цемента, необходимой для проектирования составов бетона, именно активности (прочности на сжатие), не представляется возможным в условиях постройки, даже имеющей полевую лабораторию. Для такого испытания требуются копер для утрамбовывания образцов и сильный пресс для раздавливания; этого оборудования в полевых лабораториях не имеется.

Отсылка проб цемента для испытания в какую-либо центральную лабораторию продолжается слишком долго и стоит дорого. Паспорта на цемент, получаемые с заводов, также не решают вопроса, так как поступают обычно после израсходования цемента и не всегда соответствуют действительности.

Для правильной постановки контроля бетона является необходимым испытание цемента на самой постройке одним из двух способов: 1) на разрыв, изготавливая восьмерки из цементного теста (без песка), испытывая их с помощью прибора Михаэлиса (производится в СССР в большом количестве) и сравнивая со стандартом, 2) на изгиб путем изготовления и испытания цементных призмочек размерами:

$$40 \times 40 \times 250 \text{ мм.}$$

Состав раствора: на 1 весовую часть цемента — 3 весовых части песка, приближающегося к нормальному.

Смесь песка и цемента предварительно перемешивается всухую и затем добавляется вода в количестве 50% от веса цемента. Масса энергично перемешивается в течение 5 мин., после чего укладывается в формы, изготавливаемые согласно рис. 4.

При укладке производится легкое перемешивание металлическим стержнем. Уложенный в форму раствор уплотняют постукиванием формы о край стола в течение $\frac{1}{4}$ —1 мин., после чего избыток раствора срезается ножом и поверхность выравнивается.

В форме образец оставляется на 24 часа. При этом надлежит образцы покрывать колпаком, под которым для увлажнения воздуха одновременно устанавливается сосуд с водой.

Через 24 часа образцы освобождаются из формы и перекладываются ванну с водой комнатной температуры (от $+15$ до $+20^{\circ}\text{C}$), где и хранятся до испытания. При шлако-портланд-цементе балочки нужно класть в воду только после 3 суток хранения во влажном воздухе.

Испытание рекомендуется производить через 7 и 28 дней по изготовлении.

Получаемое при испытании условное временное сопротивление изгибу $\sigma_{из}$ меньше временного сопротивления сжатию σ того же раствора в несколько раз.

Для перехода к сопротивлению сжатию необходимо предварительными опытами устанавливать соответствующие коэффициенты.

Ориентировочно при портланд-цементе переходные коэффициенты можно принимать равными:

- а) при переходе от 7-дневной балочки к 7-дневному кубику—10;
- б) при переходе от 28-дневной балочки к 28-дневному кубику—10;
- в) при переходе от 7-дневной балочки к 28-дневному кубику—15.

Испытание для балочки $40 \times 40 \times 250$ мм производится непосредственной нагрузкой.

Схема испытания: балочки устанавливаются на 2 опоры с расчетным пролетом, равным 20 см, таким образом, чтобы верхняя поверхность при изготовлении балочки была боковой; груз подвешивается на поддоне к середине балочки и увеличивается постепенно.

Временное сопротивление для балочки определяется по формуле:

$$\sigma_{из} = \frac{M}{W},$$

при размерах балочки $40 \times 40 \times 250$ мм $\sigma_{из} = 0,47 P$, где P —разрушающий груз в килограммах.

Следовательно активность данного цемента ориентировочно, на основании испытания балочек на излом, может быть принята для случаев а, б, в:

Для балочки $40 \times 40 \times 250$ мм

- случай а) $R_d = 10 \sigma_{из} = 4,7 P \text{ кг/см}^2$
- б) $R_d = 10 \sigma_{из} = 4,7 P$
- в) $R_d = 15 \sigma_{из} = 7 P$

Если необходимо цемент испытать в возможно более короткий срок для быстрого пуска цемента в работу, то цементные призмочки подвергаются пропариванию на вторые сутки после первых суток хранения во влажном воздухе.

Пропаривание устраивается следующим образом: берется кастрюля

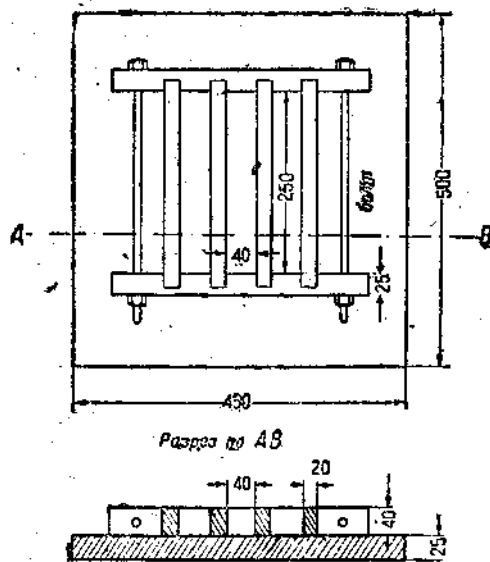


Рис. 4. Форма для цементных призмочек.

диаметром 35—40 см, в нее наливается вода до половины, затем на высоких деревянных подставках (рис. 5) кладется изготовленная призмочка; кастрюля закрывается крышкой с отверстием и подогревается примусом. Призмочка пропаривается 8 час. при температуре около 100° С. Для получения большей поверхности испарения в кастрюле обязательно вешается тряпка. По мере испарения воды подливается горячая вода. При пропаривании в условиях повышенной температуры и влажности химические реакции (в том числе и твердение цемента) идут быстрее; поэтому прочность цемента на вторые сутки получается такая же, как обычно через 5 дней. Для сравнения с прочностью 7-дневной нормально выдержанной призмочки можно считать, что при пропаривании призмочка приобретает 5/7 от семидневной прочности.

Балочка из цемента низкого качества (ниже марки 0) должна все же выдержать после 7 дней нормального хранения груз не менее 15 кг или на вторые сутки после пропаривания— груз 10 кг; при нормальном цемента через 7 дней—20 кг, через 2 дня пропаривания—15 кг; при повышенном цемента через 7 дней—25 кг, через 2 дня—18 кг. Если балочка не выдержит даже 10—15 кг, то цемент можно применить только для каких-либо неответственных работ.

При цементах, не выдерживающих горячих проб на равномерность изменения объема, балочки при пропаривании разваливаются.

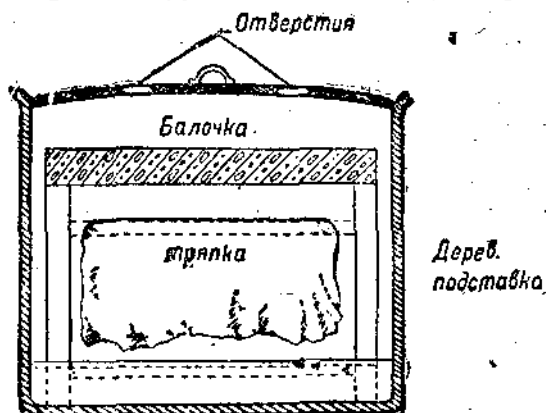


Рис. 5. Пропаривание цементного образца.

В лабораториях, имеющих пресса для раздавливания кубиков, могут пропариваться не призмочки, а нормальные кубики; для быстрых испытаний, кроме пропаривания может применяться также электрическое нагревание образцов.

Кроме полевых способов определения прочности имеется также простой способ определения сроков схватывания цемента.

В лабораториях схватывание цемента проверяется особым прибором (игла Вика). На мелкой постройке эта проверка делается перочинным ножом и ногтем следующим образом: берется 500 г цемента, из которых изготавливается пластичное тесто; различные цементы требуют для получения пластичности разной добавки воды (от 1/4 до 1/3 от веса цемента); при опыте брать воды 140 г (или 140 см³); из приготовленного теста скатываются руками 3 шарика диаметром около 4 см, шарики кладутся на стеклянные пластинки (например фотопластинки размером 9 × 12 см); пластинки встряхивают, ударяя их о стол несколько раз, пока шарик не распадется в лепешку диаметром около 7 см и толщиной в середине около 1 см; поверхность лепешки сглаживается мокрым ножом. Замечают время, когда лепешки изготовлены.

На одной из полученных лепешек острием перочинного ножа делается каждые 5 мин. легкий надрез (на самой поверхности); если надрез заливает, то схватывание еще не началось; за начало схватывания счи-

тать момент, когда надрез не запылет; конец схватывания характеризуется тем, что при легком проведении ногтем на поверхности лепешки не получается заметной черты.

Д. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЦЕМЕНТОВ

В состав большинства вяжущих материалов (за исключением гипсовых и магнезиальных цементов и битумов) входят четыре главных химических соединения:

окись кальция	CaO,
кремнезем	SiO ₂ ,
глинозем	Al ₂ O ₃ ,
окись железа	Fe ₂ O ₃ .

Соотношение указанных соединений в составе портланд-цемента определяется так называемым гидромодулем, который должен заключаться в пределах 1,7—2,4.

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

Таблица 10

	Наименование вяжущих	Содержание в %				Превыше- ние	
		основания CaO (+ MgO)	гидравлические факторы			основания	гидравличес- ких факторов
			SiO ₂	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	стужа		
Особая группа вяжущих	Известь воздушная	90	5	2	7	83	—
	» гидравли- ческая	73	17	3	20	53	—
	Роман-цемент . . .	63	17	6	23	40	—
	Портланд-цемент .	62	21	10	31	31	—
	Шлако-портланд- цемент	58	21	10	34	24	—
	Шлаковый (бес- клинкерный) це- мент	50	30	14	44	6	—
	Пуццолановый портланд-цемент.	47	31	18	44	3	—
	Основные домен- ные шлаки (ли- тейного чугуна)	47	30	17	47	0	0
	Кислые шлаки (пе- редельного чугу- на)	42	35	17	52	—	10
	Трехмер	5	70	10	80	—	75
	Трасс	2	60	24	84	—	82
	Смешток	—	75	14	89	—	89
	Глиноземистый це- мент	40	9	45	54	—	14
	Глинист-цемент . .	25	40	30	70	—	45

Другие соединения допускаются в портланд-цементе в весьма малом количестве, именно: MgO не более 4,5% (так как ведет к растрескиванию цемента при затвердевании), SO_2 — не более 2,5% (из опасения ржавления железной арматуры).

Очень удобно расположить все вяжущие материалы системы трех веществ CaO , SiO_2 , $(Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ в одной таблице по мере убывания содержания CaO и возрастания гидравлических факторов. Такая таблица (№ 10), составленная по средним данным многих анализов, здесь приводится.

Как видно по таблице, по мере убывания CaO и возрастания гидравлических факторов гидравлические свойства и активность вяжущих материалов повышаются, достигая максимума у портланд-цемента. При дальнейшем возрастании содержания гидравлических факторов вяжущие свойства материала исчезают, и он представляет собою только гидравлическую добавку (когда превышение извести над гидравлическими факторами становится отрицательным).

Исключение из приведенной таблицы составляет глиноземистый цемент, глинистый цемент и изоль-цемент, которые имеют высокие качества при химическом составе, нарушающем стройность приведенной системы, что объясняется большим содержанием глинозема.

Высокосортный и повышенный портланд-цементы имеют одинаковый химический состав с обычным цементом, но приготовлены с более тщательным подбором сырья, обжигом и тонким размолом.

Твердение портланд-цемента по теории, предложенной проф. А. А. Байковым, заключается в физико-химическом взаимодействии цемента и воды.

Именно: при воздействии на цемент воды образуются два вещества: гидрат окиси кальция $Ca(OH)_2$, и гидрат силиката извести $CaO \cdot SiO_2 \cdot 2,5H_2O$.

Первое вещество способно кристаллизоваться, второе не растворимо в воде и выделяется в коллоидальном состоянии. Отвердевшая масса цемента состоит из кристаллов $Ca(OH)_2$ и студня силиката извести. Кристаллы гидрата окиси кальция имеют определенную прочность, студень же обладает тем меньшей прочностью и сцеплением, чем более он содержит воды. В этом сказывается влияние добавления воды на понижение прочности цемента (см. § 2 гл. I о водоцементном отношении).

Выделение цементом при твердении свободной извести — гидрата окиси кальция $Ca(OH)_2$ — способствует разрушающему химическому влиянию на бетон многих веществ, а именно вследствие соединения извести с кислотами образуются соли, при действии же на бетон некоторых солей извести вытесняет из них более слабые основания. При этом происходит увеличение объема или образование растворимых солей, а как следствие — разрушение бетона (см. ниже в § 14 пун. 2).

§ 2. Цементы, изготавливаемые на постройках

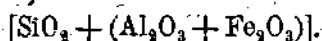
На постройках цементы готовятся путем тесного сухого или мокрого смешения извести-пушонки с какой-либо гидравлической добавкой, измельченной возможно тоньше. Для ускорения схватывания и твердения к вяжущим материалам этого рода необходимо добавление портланд-цемента, уничтожающее кроме того нежелательное свойство известково-пушчелановых цементов (общее название таких материалов) понижать прочность при твердении на воздухе и увеличивающее морозостойчивость.

Практика СССР уже достигла применения для бетона вяжущего мате-

рпата следующего состава (на 1 м³ бетона): цемента 30—60 кг (вместо обычных 250 кг); извести с гидравлической добавкой 220—240 кг. Соотношение между известью и добавкой колеблется в пределах от 1:1 до 1:3, в зависимости от качества (жирности) извести и активности добавки; наилучшее соотношение определяется только опытом. Применение указанного сложного вяжущего вещества дает возможность получить дешевый бетон нового вида; вследствие большой водопоглощаемости добавки бетон будет иметь густую консистенцию, пониженную прочность в первое время, но весьма продолжительное нарастание прочности; при трамбованном бетоне допустим больший процент добавки, чем при пластичном. Такой бетон должен вытеснить дорогой бетон на портланд-цементе во всех случаях, когда не требуется большой пластичности (массивы), и расчетные напряжения невысоки (менее 20 кг/см²). Это имеет место в различных фундаментах, основаниях полов и дорог, плотинах и пр.

Гидравлическими добавками называются вещества, придающие извести способность твердеть под водой и обладающие свойством придавать растворам и бетонам на обычном портланд-цементе известную стойкость против разрушающих химических влияний. По своему химическому составу они делятся на кислые и основные.

Кислыми гидравлическими добавками называются естественные или искусственные материалы, в составе которых преобладают кислотные окислы:



Будучи в порошкообразном состоянии затворены водою, кислые гидравлические добавки самостоятельно не отвердевают, но в смеси с воздушной известью образуют тесто, способное отвердевать в воде. К ним относятся:

а) Пуццоланы — породы вулканического происхождения, находящиеся в природе в землистом состоянии, к каковым принадлежат рыхлые вулканические туфы, например вулканический пепел из Нальчика, пемза (вернее пемзовый отвал) из Ани и других мест, вулканический песок и пр. За границей пуццоланы представлены неаполитанской и римской пуццоланой, санторинской землей и пр.

б) Трассы — породы вулканического происхождения, находящиеся в природе в более или менее плотном камневидном состоянии, каковыми являются твердые вулканические туфы, например трасс крымский (карадагский), трасс красноводский и др. За границей известны трассы: рейнский, баварский, японский и др.

в) Кремнистые осадочные породы, каковыми являются трепела и диатомит, известные также под названиями диатомовой земли, инфузорной земли, кизельгура, «опоки» и др. В СССР известны месторождения у ст. Добужа, у Брянска, у ст. Инза, у ст. Могилев-Подольский, Волжское на Урале, Кингиссепское (около Ленинграда) и в ряде других мест. Трепел отличается от диатомита большей прочностью, более древним происхождением (трепел — меловой период, диатомит — третичный), разрушившимися панцирями водорослей.

Диатомит, имеющий органические примеси, требует прокаливания.

г) Глинистые материалы, надлежащим образом обожженные (при температуре от 500 до 800°) и измельченные в тонкий порошок.

д) Сипшоф — отход, получаемый при извлечении глинозема из глины, богатой кремнекислотой. В СССР пока получается лишь на заводе

«Кислый химик» в Ленинграде. Вопрос о получении шихтофа на Бобриковском химкомбинате и алюминиевых заводах остается пока открытым.

е) Зола, получаемая при сжигании некоторых видов минерального топлива, в частности зола подмосковных углей (сжигаемых на колосниковых решетках), зола горючих сланцев и пр.

Основными гидравлическими добавками называются вещества, в составе которых преобладают основные окислы (CaO и MgO).

К ним относится доменный основной гранулированный шлак, получаемый при выплавке чугуна на минеральном топливе.

В отличие от кислых гидравлических добавок доменный основной гранулированный шлак, будучи в порошкообразном состоянии затворен водой, способен медленно отвердевать сам по себе. Этот процесс значительно ускоряется при смешении его с воздушной известью или портланд-цементом.

Как указано выше, прибавление гидравлической добавки к портланд-цементу повышает его стойкость против химических влияний. Однако значительное прибавление добавок (более 20%) показало, что в пластичных растворах при этом имеет место значительное понижение прочности, с течением времени выравнивающееся, но все же не достигающее прочности цемента без добавки даже к 6 месяцам.

Это видно из приводимой здесь таблицы.

Состав 1 : 3. Раствор пластичный (количество воды 12—15 %).

$$\frac{W}{C} = 0,5 - 0,6.$$

Таблица 11

Портланд-цемент %	Добавка %	Временное сопротивление сжатию в кг/см ²				Примечание
		7 дн.	28 дн.	3 мес.	6 мес.	
100	0	101	220	285	328	Данные л. нингр. филиала ВИСМ
80	трепел 20	85	177	288	319	
70	» 30	60	165	284	260	
60	трасс 40	41	93	140	181	
50	» 50	27	73	112	159	
80	шихтоф 20	49	186	243	288	
70	» 30	49	173	204	204	
70	шлак 80	82	198	266	350	
50	» 50	74	194	248	288	
30	» 70	55	172	238	270	

Наоборот, новейшие американские опыты¹ показывают, что при добавке к портланд-цементу трепела или диатома в малых количествах (всего 3—5%), прочность бетона на 28-й день повышается на 16—28%, пластичность бетона при такой добавке не страдает.

Имеется предположение, основанное на ряде опытов, что качество добавки в отношении повышения прочности бетона характеризуется не содержанием активного кремнезема, а содержанием ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$).

Повышение темпа нарастания прочности сложного известково-пудцоланового вяжущего вещества достигается пропариванием, чем и пользуются при изготовлении различных видов теплобетонных камней.

¹ Опубликовано в журн. «Rock Products», VIII, 1930.

ГЛАВА II

БЕТОН ОБЫЧНЫЙ

§ 3. Общие сведения

Несмотря на то, что бетон является весьма старым материалом, он долгое время оставался материалом с неизученными свойствами; правильный выбор составов бетона получил научное обоснование в строительстве СССР только с 1924 г., после изучения американских работ Абрамса, немецких работ Графа и др., развитых в дальнейшем научно-исследовательскими институтами СССР.

В практике выбора составов бетона необходимо отметить три периода.

1-й период (до 1924 г.) характеризовался отсутствием точных знаний о бетоне; именно не было в точности известно, как отразится на прочности и виде бетона качество цемента, сорт песка и щебня, соотношение между количеством цемента, песка, щебня и воды; в целом не было заранее известно, какой прочности и какого вида получится бетон при выбранном составе бетона и данных материалах.

В этот период составы бетона назначались на ощупь, по традиции, без учета свойств материалов. Это явление получило официальное отражение в старых нормах (Т. У. и Н. на железобетон, 1926 г.), в которых была например приведена следующая табличка для выбора бетона, в зависимости от требуемой прочности.

Таблица 12

Марка бетона	1	2	3	4	5
Приблизительный состав	1:1,5:3	1:2:4	1:2,5:5	1:3:6	1:4:8
Прочность бетона	200	160	140	100	80

Табличка относилась только к трамбованному (жесткому) бетону; количество воды не указывалось; при имеющемся чрезвычайном разнообразии в качестве материалов и при разном количестве воды действительная прочность бетона рекомендованных в табличке составов колебалась в громадных пределах, давая отклонения от нормы или в ущерб прочности или в ущерб экономичности.

2-й период — с 1924 до 1930 г. — явился переломным в деле внедрения указанных выше научных достижений в практику бетонного строительства. Наука о бетоне развивалась весьма быстро, но все же применение полученных данных в практике было затруднительно; сложность методов и необходимость устройства полевых лабораторий на стройках позволяли применять рациональный выбор составов бетона только на

крупнейших постройках. Все остальные постройки оставались без обслуживания научными данными.

3-й период — современный — является периодом повсеместного применения рациональной дозировки бетона; методы науки о бетоне удалось настолько упростить (без потери точности), что они сделались доступными каждому прорабу и технику. Сам по себе выбор состава бетона производится простейшим подбором или по готовым таблицам, которые приведены на стр. 88—95. Даже отсутствие полевой лаборатории на стройке не может служить препятствием для правильного выбора составов бетона.

Необходимость исследовательских работ по бетону была вызвана двумя обстоятельствами.

1. Строительства убедились, что при отсутствии проектирования и контроля составов бетона даже применение жирных и дорогих составов зачастую не дает гарантии в прочности бетона.

Для иллюстрации укажем, что бетонные образцы с построек при том составе (1:2:4), который считался вполне пригодным для ответственных работ (марка бетона № 2), имели через 28 дней временное сопротивление, начиная от 40 кг/см². Эта цифра является чрезвычайно низкой даже по сравнению с нормами, действующими в настоящее время.

Последние нормы 1931 г. требуют от бетонных образцов следующей прочности:

Таблица 13

Прежнее название: •Марка бетона•	—	—	1	2	3	4	5
Временное сопротивление через 28 дней кг/см ²	210	170	130	110	90	65	45

Сравнивая величины временных сопротивлений с применяемым обычно допускаемым напряжением 50 кг/см², видим, что запас прочности для наиболее распространенной при капитальном строительстве 2-й марки бетона получается равным всего 2,20. Совершенно ясно, что не может быть допущено дальнейшее произвольное снижение запаса прочности.

Иногда в защиту допустимости пониженной прочности бетона, получаемой при 28-дневном возрасте бетонных образцов, приводят соображения о значительном увеличении прочности бетона с течением времени.

Однако, рассматривая графики, полученные в опытах проф. Боляева, Пробега и Абрамса (рис. 6, 7, 8), можно заключить, что весьма значительный темп роста прочности бетона имеет место именно только до 28-дневного возраста. В дальнейшем темп роста уменьшается, и бетон только 5-летнего возраста при благоприятных условиях (хранение во влажном помещении) приобретает прочность, примерно в 2 раза большую прочности 28-дневного бетона. Такое повышение прочности не может служить поводом для уменьшения требований к бетону по трем причинам: во-первых, наряду с ростом прочности бетона возможен и рост нагрузок (увеличение веса подвижного состава железных и шоссейных дорог, утяжеление машин и увеличение их динамического действия в промышленных предприятиях); во-вторых, возможно понижение прочности бетона, в связи с воздействием на него различных физических и хими-

ческих влияний; в-третьих, опытами Ван-Орнума, Берри, Слетера, Пробста, Мемеля и др. положено начало теории усталости бетона, одним из предварительных выводов которой является установление предела усталости бетона. При повторных нагрузках возможно разрушение бетона даже при напряжении, равном 0,50 — 0,55 от временного сопротивления.

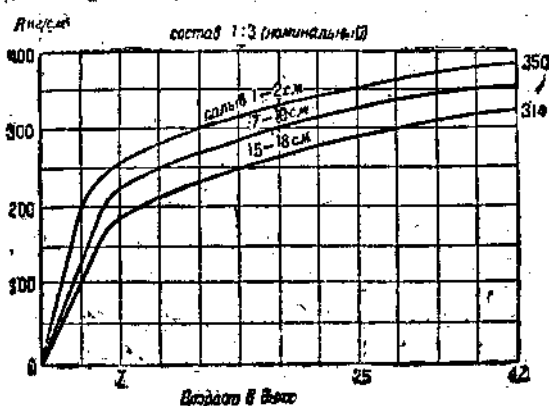


Рис. 6. Нарастание прочности бетона по Беляеву.

ных работ. Само по себе уменьшение запаса прочности согласно последним нормам уже включает в себе значительное снижение стоимости железобетонных конструкций. Но обеспечить в действительности в сооружении такой малый запас прочности можно только применением методов проектирования и контроля составов бетона, основанных на научных исследованиях.

Помимо этого, в силу сравнительно низких временных сопротивлений, требуемых от бетона нормами, применение методов проектирования сос-

Все же в большинстве случаев сооружение не загружается полной нагрузкой через 28 дней после бетонирования; обычно полная нагрузка имеет место значительно позже; поэтому можно к 28 дням требовать только часть расчетной прочности (например 75%); см. об этом более подробно в § 11.

2. Вторым мотивом для проведения исследовательских работ было желание дать способ для безопасного снижения стоимости бетон-

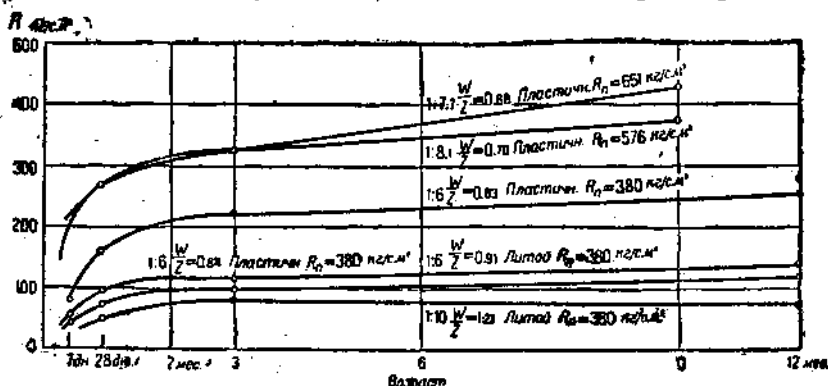


Рис. 7. Нарастание прочности бетона по Пробсту.

тавов бетона дает возможность дальнейшего снижения стоимости бетона, выбирая для него более дешевые составы, по сравнению с ранее применявшимися традиционными составами вроде 1:2:4, которые брались без учета качества местных материалов.

Следовательно речь идет о возможности одновременно удовлетворять двум условиям: 1) обеспечению прочности бетона и 2) снижению стои-

мости его. Раз это так, то на постройках не может ставиться вопрос о полезности или бесполезности предлагаемых методов. Проектирование и контроль составов бетона должны стать элементарно необходимыми для всех построек с более или менее крупным объемом бетонных (или железобетонных) работ (по нормам: при объеме бетонных работ более 2000 м³, на ответственных же работах и при меньшем объеме бетонной кладки).

Все исследования, излагаемые в настоящей книге, относятся к бетону пластичному и литому, который в настоящее время почти исключительно применяется для бетонных и железобетонных работ. Широкое развитие этого вида бетона за счет бетона жесткого объясняется не только удобствами механизации, транспортировки и укладки бетона в армированные части сооружений, но и большой неоднородностью механических свойств жесткого бетона. Вследствие трудности достигнуть хорошего пере-

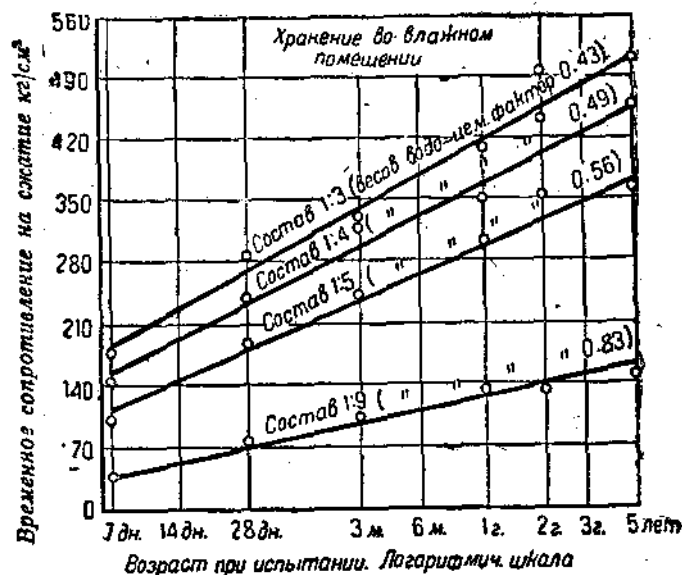


Рис. 8. Нарастание прочности бетона по Абрамсу.

мешивания и укладки жесткого бетона, даже в лабораторных условиях, разница в прочности образцов из жесткого бетона одного состава доходит до 50%.

Работы в СССР по исследованию пластичного и литого бетона были значительно облегчены наличием в этой области большого количества ранее произведенных исследований. Сюда относятся работы проф. Абрамса и Тальбота — в Америке, Графа и Пробста — в Германии, Фере — во Франции, Роша — в Швейцарии, Свенсона — в Дании, проф. Н. М. Беляева — в СССР (Ленинградский институт и жон тров путей сообщения) и др.

Ниже в основном использованы теория и методы Абрамса. Эта теория может быть коротко названа «теорией водоцементного фактора».

Методы количественной оценки основных свойств бетона и материалов для него

Долгие годы бетон и материалы для него не имели количественных характеристик некоторых своих основных свойств. Сюда относятся: 1) оценка необходимого количества воды, 2) оценка консистенции (пла-

стичности) бетона и 3) оценка крупности инертных материалов (песка и щебня).

Покажем на простом примере, что одно, ранее применявшееся указание о составе бетона и термин «пластичный», «литой» и т. п. совершенно недостаточно характеризовали прочность бетона. Для этого сгруппируем все данные об испытаниях образцов пластичного бетона, изготовленных

Таблица 14

Состав по объему	Временное сопротивление через 28 дней кг/см ²
1:2:4	93—219
1:3:3	48—169
1:2 ¹ / ₂ :5	83—210
1:3 ¹ / ₂ :4	55—150
1:3:4 ¹ / ₂	77—126
и т. д.	

в одной лаборатории, по составам. Получим табл. 14, в которой приведены крайние значения получавшихся прочностей по каждому составу.

Таблица показывает, что если не принять дополнительных характеристики бетона, то колебания прочностей при одном и том же составе чрезвычайно велики.

Поэтому ниже прежде всего приводятся вышеуказанные три новые характеристики бетона.

§ 4. Влияние содержания воды в бетоне при укладке на его прочность

Первые указания о наличии такого влияния опубликованы в 1897 г. Фере применительно не к бетону, а к раствору. Именно Фере нашел, что прочность раствора σ зависит от отношения абсолютного объема цемента (C) к объему воды и пустот (v) при изготовлении образцов

$$\sigma = K \left(\frac{C}{v} \right)^n,$$

где K — коэффициент, зависящий от качества цемента, возраста и способа хранения образцов.

Абрамс в 1918 г. распространил эту зависимость на бетон, попутно пренебрегая величиной объема пустот, и предложил следующую формулу для определения прочности (временного сопротивления сжатию) бетона в возрасте 28 дней:

$$\sigma_{28} = \frac{A}{B \frac{W}{C}},$$

где A — зависит от сорта цемента,

B — > > > условий хранения,

$\frac{W}{C}$ — так называемое водоцементное отношение, т. е. отношение по объему количества воды к рыхлому цементу (вес рыхлого цемента был принят 94 фунта/куб. фут.).

Для американского стандартного портланд-цемента при хранении во влажной среде Абрамс нашел зависимость

$$\sigma_{28} = \frac{1400}{7 \frac{W}{C}} \text{ фунт/дм}^2.$$

Уравнение применимо только к удобообрабатываемому (пластичному) бетону.

Найденная Фере и Абрамсом зависимость представляет исключительный интерес, так как претендует на разрешение задачи, казавшейся ранее невозможной для разрешения: установить заранее до испытания прочность бетона по его составу или, наоборот, определить состав бетона, необходимый для получения заданной прочности.

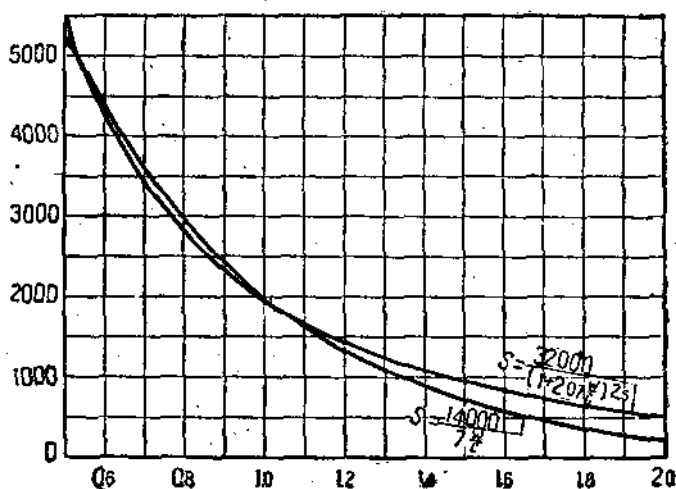
Вышеуказанная зависимость ввиду ее исключительного интереса подверглась проверке в лабораториях многих стран, причем в общем получила подтверждение.

Математическое выражение этой зависимости получила у различных исследователей иное, чем у Абрамса, а именно:

Тальбот и Рихарт дали формулу:

$$\sigma_{28} = \frac{82000}{\left(1 + 2,07 \cdot \frac{W}{C}\right)^{1,5}}$$

(в американских мерах; $\frac{W}{C}$ — по объему), которая, будучи нанесена



Водоцементный фактор по объему.

Рис. 9. График Абрамса и Рихарта.

на график (рис. 9), показала полное сходство с формулой Абрамса; Граф предложил формулу:

$$\sigma_{28} = \frac{R_n}{\alpha \left(\frac{W}{C}\right)^2} \text{ кг/см}^2,$$

где R_n — активность цемента в кг/см^2 , испытанная по немецким нормам, $\frac{W}{C}$ — водоцементное отношение по весу, α — коэффициент, могущий принимать значения от 4 до 8.

Проф. Безяев выработал для цементов и методов испытаний, применяемых в СССР, следующую формулу

$$\sigma_{28} = \frac{R_n}{3 \left(\frac{W}{C}\right)^{1,5}},$$

где R_n — активность цемента в кг/см^2 , испытанная по нормам СССР, $\frac{W}{C}$ — водоцементное отношение по весу.

Для определения прочности бетона в 7-дневном возрасте возможно вывести подобную же формулу:

$$\sigma_7 = \frac{R_n}{6 \left(\frac{W}{C} \right)^2}.$$

Основным положением Абрамса и Фере является установление зависимости прочности бетона только от $\frac{W}{C}$ и активности цемента (если считать методы испытания и условия хранения постоянными):

$$\sigma = f \left(\frac{W}{C}, R_n \right).$$

Другими словами, независимо от состава бетона прочность его определяется только отношением количества воды к цементу. При этом ста-

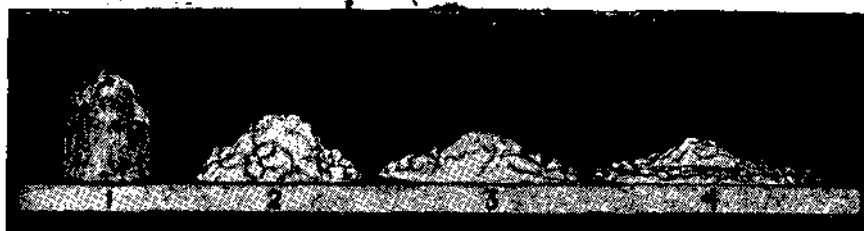


Рис. 10.

Состав:	1:2 $\frac{1}{2}$:5	1:2 $\frac{1}{2}$:4	1:2:4	1:1 $\frac{1}{2}$:3 w/c=0,80
Прочность после затвердевания σ_{28}	110	110	110	110 кг/см^2

вится только одно условие, чтобы бетон оставался пригодным для бетонных работ, т. е. был пластичен и не распадался на составные части. Это положение Абрамса на первый взгляд нарушало прежние обычные представления о «жирных», «тощих» и других составах. Но нужно заметить,

что при одинаковых $\frac{W}{C}$ и следовательно при одинаковой прочности консистенция различных составов бетона получается разная; жирный состав получается более пластичным и удобным для работ, чем тощий. Если же сравнивать бетоны разных составов при одинаковой консистенции, то прежние представления в общем остаются справедливыми. Жирный бетон будет прочнее более тощего при применении одинаковых материалов, одинаковой пластичности и сохранении постоянным соотношения между песком и щебнем, т. е. при всех перечисленных условиях бетон состава (1:m:n) будет прочнее состава [1:k(m:n)], где $k > 1$.

Весьма наглядно изображена способность различных составов бетона давать одинаковую прочность, но разную пластичность на приводимом

здесь рис. 10. На другом рисунке имеется подтверждение того факта, что один и тот же состав бетона может давать весьма разнообразную прочность в зависимости от изменения $\frac{W}{C}$ (рис. 25).

Зависимость прочности бетона от $\frac{W}{C}$ и R_d у нас установлена нормами, причем приняты к применению формулы проф. Беляева и составленные соответственно им графики для трех марок цемента: 0, 00 и 000 (рис. 11, 12 и 13).

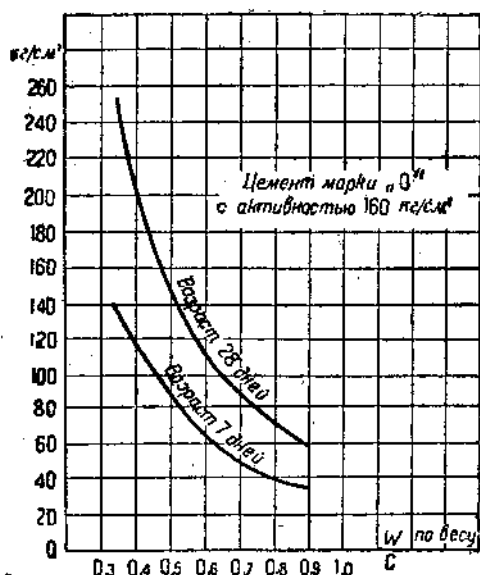


Рис. 11. Зависимость прочности от водоцементного отношения.

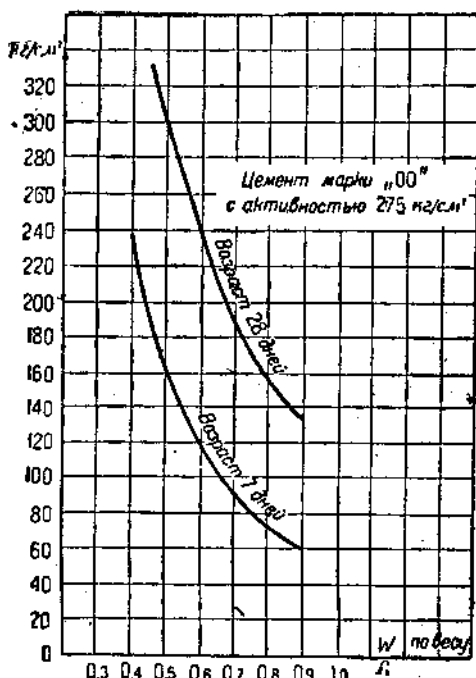


Рис. 12. Зависимость прочности от водоцементного отношения.

Однако пользоваться этими формулами и графиками без поправок не представляется возможным. Как указано выше, уже в формуле Графа предусмотрены колебания в прочности бетона в 2 раза при одном и том же цементе и $\frac{W}{C}$.

Исследования лабораторией украинского Института сооружений, Целбета (Москва) и Днепростроя показали также большие отклонения от зависимости, установленной нормами (на $\pm 30\%$), однако не достигающие такой большой величины, на которую указал Граф (рис. 14, график Днепрострой). Весьма большие колебания прочности по формуле Графа объясняются тем, что он распространил применение найденной зависимости на неудобобрабатываемые бетоны. В действительности эта зависимость справедлива для пластичных и литых бетонов с содержанием песка не менее 30% от суммы инертных материалов.

Нашими лабораториями установлены следующие дополнительные влияния на основную зависимость:

$$\sigma = f \left(\frac{W}{C}, R_d \right),$$

выраженную вышеприведенными формулами и графиками и полученную из опытов с применением щебня, чистого речного песка при хорошем соотношении различных сортов инертных материалов:

- 1) при применении гравия (вместо щебня) прочность при том же $\frac{W}{C}$ и R_d уменьшается в 1,2 раза;
- 2) при употреблении остроугольного (чистого) песка вместо речного прочность бетона повышается в 1,1 раза;

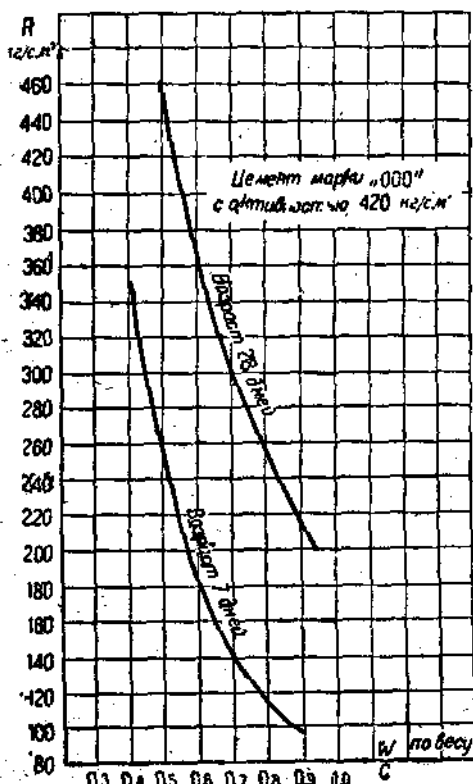


Рис. 13. Зависимость прочности от водоцементного отношения.

- 3) при применении искусственного дробленого песка прочность увеличивается в 1,1 раза;
- 4) при употреблении инертных материалов, имеющих неправильный зерновой состав (по крупности), прочность может уменьшиться до 1,3 раза;
- 5) большая загрязненность инертных материалов, стоящая на границе допустимого, понижает прочность бетона в 1,2 раза.

Можно отметить, что все поправки связаны с формой, характером поверхности и составом инертных материалов; повидимому, следует признать дополнительное влияние инертных материалов на основную зависимость:

$$\sigma = f \left(\frac{W}{C} \right).$$

Что касается влияния активности цемента на прочность бетона, то во всех вышеприведенных формулах оно выражается прямой пропорциональностью. Ошибочность этого положения указывалась Графом и подтверждается опытами украинского Института сооружений. Именно

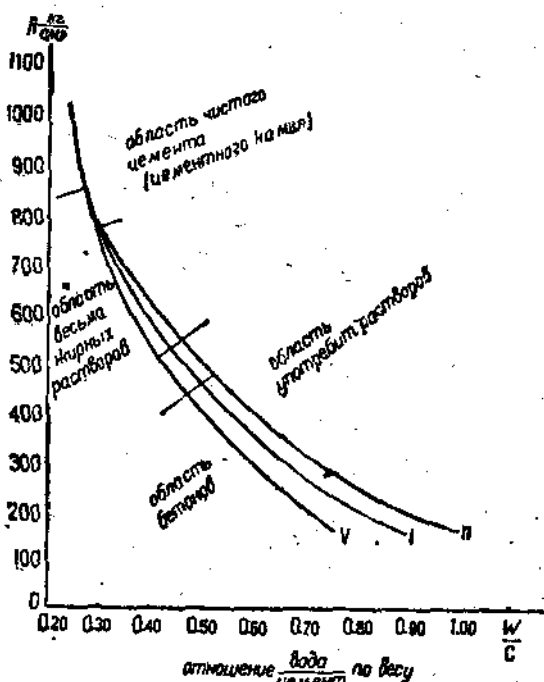
в этих опытах были получены кривые $\sigma = f \left(\frac{W}{C} \right)$ для различных цементов, пересчитаны, исходя из прямой пропорциональности, на активность цемента 240 кг/см² (принятую в опытах проф. Беляева) и нанесены на график. В результате получена не одна кривая, а целый пучок кривых, заключенных в пределах с отклонением на $\pm 10-13\%$ от средней кривой.

Объяснение этих отклонений состоит в том, что до сих пор активность цемента определяется в образцах с одинаковой консистенцией (и вдобавок трамбованных) вместо того, чтобы производить испытание всех це-

ментов с одинаковым $\frac{W}{C}$. В силу этого те цементы, которые требуют при испытании активности повышенную величину активности, а в бетоне (при одинаковом $\frac{W}{C}$) показывают прочность меньшую, чем это следовало бы, исходя из прямой пропорциональности.

Поэтому для цементов, требующих при испытании активности для получения так называемой нормальной влажности воды менее 9%, необходимо при определении прочности бетона полученную активность цемента умножать на коэффициент $\alpha = 0,9$, а для требующих воды меньше 8% — принимать $\alpha = 0,80$.

Физически понижение прочности бетона с увеличением содержания воды в бетоне можно представить как следствие разжижения того клея, которым является студень, образующийся при схватывании цемента и состоящий из гидрата силиката извести



I кривые для бетона с гранитным щебнем и едкатер песком
II " " " с гранитными дроблеными инертными
III " " " с едкатер гравием и едкатер песком

Рис. 14. График Днепропротоя.

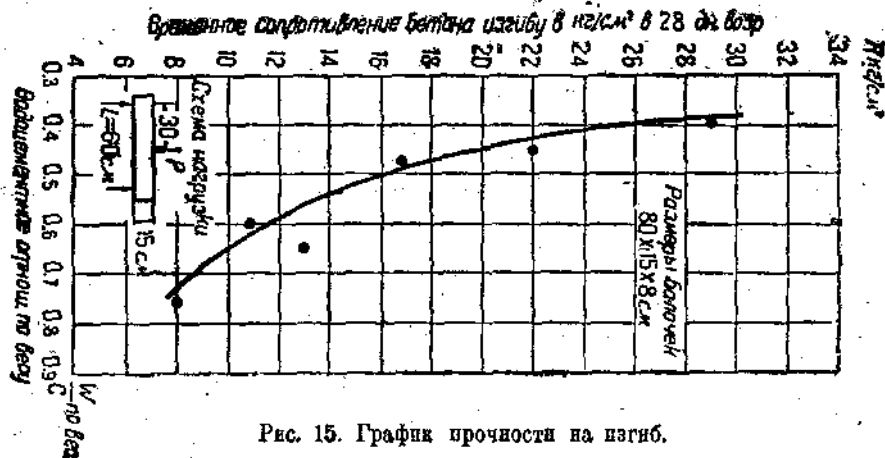


Рис. 15. График прочности на изгиб.

($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2,5 \text{H}_2\text{O}$). Как известно, клеящие способности всякого клея ослабевают по мере разбавления его водой.

Полная работа удара до разрушения в кгс.м

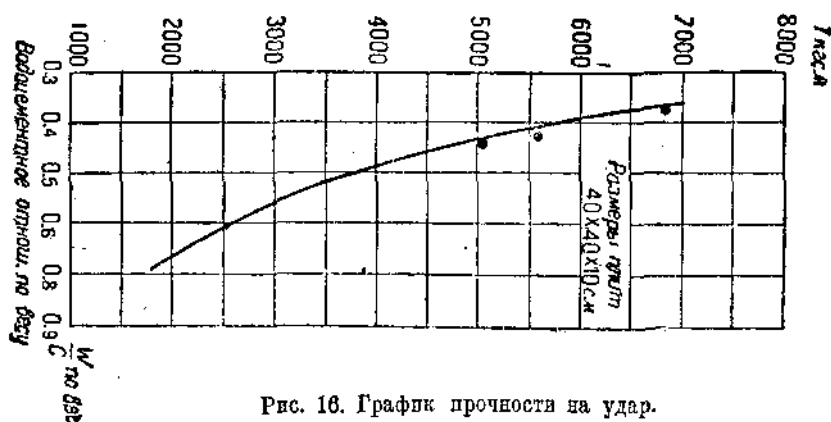


Рис. 16. График прочности на удар.

Как показали опыты Графа и инж. Александрина, прочность бетона при изгибе, разрыве и ударе подчинена той же зависимости от $\frac{W}{C}$,

что и при сжатии. Эта зависимость показана на графиках инж. Александрина (рис. 15 и 16).

§ 5. Пластичность и удобообработываемость бетона

Большое влияние количества воды, добавленной в бетон при затворении, на его прочность потребовало изыскания метода математической оценки пластичности (консистенции) бетона.

Для определения консистенции за границей предложен целый ряд методов, (не менее 13¹ методов), из которых приведем три основных. В СССР предложены три новых метода, из которых приводим 2 проверенных.

1. Наиболее распростра-

¹ См. статью R. Feret в журнале «Concrete» № 4, 1932 г.

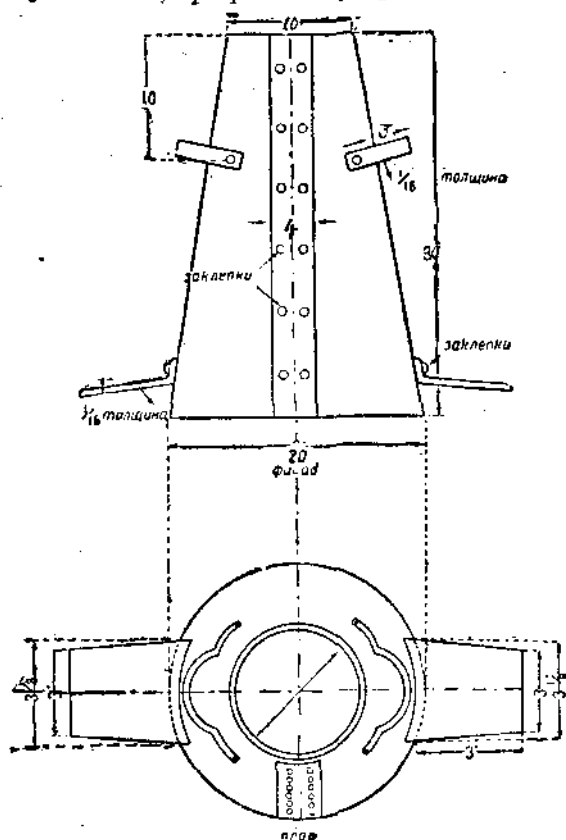


Рис. 17. Конус Абрамса.

ненным методом, вошедшим у нас и в нормы, является измерение осадки бетонного конуса (конус Абрамса). Необходимыми принадлежностями служат: а) железный конус размеров, указанных на рис. 17 с 2 упорами для прижимания конуса ногами к подставке и 2 ручками для снятия его; б) деревянная подставка размером 50×50 см, оббитая кровельным железом; в) железная палка длиной 75 см, диаметром 1,5 см для штыкования бетона.

Метод заключается в следующем: конус смачивается водой и ставится на подставку, также смоченную; производится наполнение конуса бетоном, подлежащим испытанию, затворенным перед самым опытом. Наполнение конуса бетоном производится в 3 слоя по 10 см; каждый слой протыкается (без удара) железным стержнем 25 раз. Во время наполнения и штыкования конус плотно прижимается ногами к подставке (рис. 18). Немедленно по наполнении конуса форма снимается путем медленного и строго вертикального поднятия ее за ручки. Бетонный конус, освобожденный от формы, дает осадку, если бетон достаточно пластичен. Немедленно



Рис. 18. Наполнение конуса.

после снятия формы осадка измеряется при помощи линейки и метра (рис. 19). Величина осадки в сантиметрах является мерой консистенции.

Из каждого замеса производится измерение осадки конуса 2 раза, и результат берется средний.

2. Столик Графа является вторым употребительным прибором для определения консистенции. Он состоит из двух деревянных щитов размером 70×70 см, скрепленных петлей. Верхний щит служит подставкой для конуса Абрамса (рис. 20). Наполнение и снятие конуса производится, как описано выше. После снятия формы производят встряхивание бетонного конуса, поднимая и отпуская 10 раз верхнюю



Рис. 19. Измерение осадки конуса.

доску столика на высоту 4 см; подъем ограничивается скобой, прибитой к нижнему щиту.

При встряхивании столика конус расплывается, и за меру консистенции принимается диаметр расплывшейся лепешки.

3. Столик Бетке не так распространен, как два предыдущих прибора,

в силу своей сложности и затруднительности переноски по постройке. В нем конус (меньшего размера, чем основной конус Абрамса) ставят

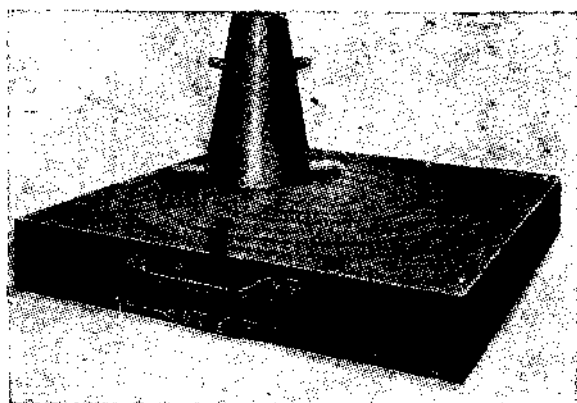


Рис. 20. Столик Графа.

на круглую платформочку (рис. 21). При поворачивании рукоятки эксцентрик подбрасывает платформочку, что производится 10 раз, после чего измеряется средний диаметр расплывшейся лепешки. Отношение этого диаметра к первоначальному, умноженное на 100, называется коэффициентом пластичности.

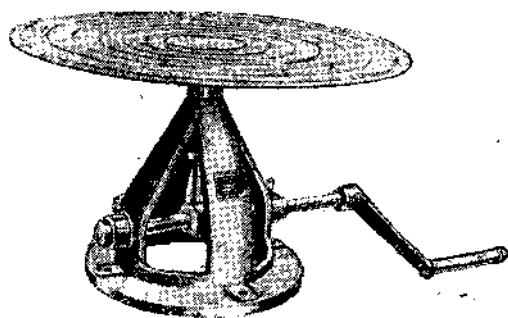


Рис. 21. Столик Бетко.

1. Новые методы определения консистенции бетона, предложенные в СССР

Описанные выше три метода определения консистенции бетона имеют большие недо-

статки. Отметим эти недостатки сначала в отношении метода Абрамса.

1. Конус Абрамса требует точного трамбования, хорошей пришлифовки нижней поверхности конуса и надежного прижатия конуса к подставке во избежание вытекания части воды. Требуется строго вертикальное поднятие конуса.

2. Опыт с конусом в сильной степени зависит от индивидуальности лаборанта.

3. Замечается, что пробы, взятые из одного замеса, с постепенным увеличением воды, иногда не дают увеличения осадки конуса вследствие различного расположения щебенки.

4. До некоторого предела пластичности конус не дает показаний, а при большом количестве воды показания его начинают уменьшаться. Последнее явление объясняется тем, что раньше, чем удастся снять форму, часть воды стекает; оставшийся скелет иногда разваливается, часто же удерживается, давая только небольшую осадку. Это явление наглядно видно из графика (рис. 22) проф. Беляева; из него можно

закл $\ddot{y}$ чить, что при двух различных количествах воды может получиться одинаковая осадка конуса. При опытным контроле за бетоном это может послужить причиной недоразумений.

5. Конус не дает непосредственного отсчета, а требует дополнительного измерения линейкой.

Столик Графа свободен от некоторых недостатков предыдущего прибора, но он требует кроме конуса дополнительных принадлежностей. Вследствие приподнимания одного края столика расплыв конуса получается односторонний. Влияние индивидуальности лица, производящего опыт, и здесь имеется, так как скорость и сила встряхивания не нормированы. Зачастую, прежде чем конус расплывается, у него сваливается верхняя часть.

Столик Бетке более совершенен, чем предыдущий, но он наиболее сложен, дорог и весьма неудобен при переноске по постройке.

Кроме всех перечисленных недостатков указанные 3 прибора имеют на наш взгляд еще одно отрицательное качество: их показания являются отвлеченными, не связанными с какой-либо производственной характеристикой бетона, в частности они не дают ответа о текучести бетона (что необходимо для определения угла наклона желобов).

Имея в виду все эти обстоятельства, предложен новый прибор и метод для определения консистенции бетона, который уже вошел в практику и нормы СССР взамен столика Графа.

Прибор (столик Скрамтаева) чрезвычайно прост и состоит из двух деревянных щитов размером 50×40 см, скрепленных дверной петлей. Верхний щит обит кровельным железом. К верхнему щиту прикреплена ручка, а к нижнему — дуга из фанеры, растерченная на градусы. Прибор может быть легко изготовлен на любой постройке (рис. 23).

Метод определения консистенции с помощью этого прибора следующий: проба бетона в 5 л кладется на верхний щит, предварительно вытираемый 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. Этот угол наклона (при начале движения всей массы бетона) и считается мерой консистенции.

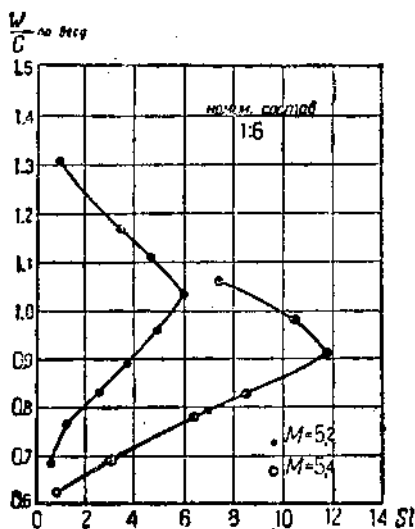


Рис. 22. График Беляева.

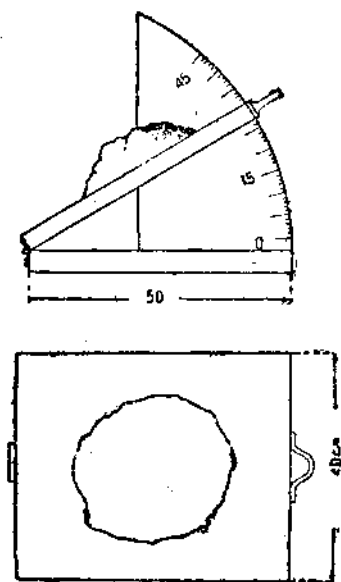


Рис. 23. Столик Скрамтаева.

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

Таблица 15

$\frac{W}{C}$	Состав 1:2:1		Состав 1:2 $\frac{1}{2}$:3	
	песок с M=1,80	песок с M=2,30	песок с M=1,80	песок с M=2,30
	Углы наклона столика в градусах			
0,50	36	30	33	34
0,55	33	26	35	30
0,60	30	24	32	27
0,65	25	20	23	22
0,70	17	16	23	19
0,75	16	15	19	17
0,80	15	15	17	16
0,85	15		15	15

(Цемент и щебень во всех опытах применялись одинаковые.)

Таблица показывает, что:

1) с увеличением количества воды (следовательно с увеличением пластичности) углы наклона столика уменьшаются;

2) увеличение $\frac{W}{C}$ на 7—10%, заметно уменьшает углы наклона столика (за исключением случаев с большими $\frac{W}{C}$, о чем сказано ниже); такая точность не уступает конусу Абрамса;

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

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

Таблица 16

$\frac{W}{C}$	Осадка конуса в см	Угол наклона столика в градусах
0,50	0	40
0,60	0	37
0,70	0	33
0,80	0	29
0,90	15—21	23
1,00	22	17

Особенно наглядно видны преимущества нового метода измерения консистенции перед методом конуса Абрамса при испытании бетона, изготовленного из материалов плохого гранулометрического состава. Так, при мелком песке и однородном щебне конус Абрамса с увеличением количества воды в бетоне долгое время не показывает осадки, а затем сразу распадается. Наоборот, столик дает все время закономерно меняющиеся показания. Данные этих опытов приводятся в табл. 16.

Для перехода от нового метода к обычному методу Абрамса приводится следующая табличка, полученная из опытов:

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

Опыты со столиком позволяют нам сделать один важный вывод, а именно: при увеличении $\frac{W}{C}$ выше 0,75—0,85 при наших обычных составах (1:2:4 и 1:2 $\frac{1}{2}$:5) подвижность бетона не увеличивается, прочность же в соответствии с § 2 уменьшается; следовательно применение $\frac{W}{C}$ больших 0,75—0,85 при обычных составах ни чем не оправдывается. Кроме того необходимо заметить, что уже при $\frac{W}{C} \geq 0,60$ вода начинает отделяться от цементного теста.

Большие сравнительные испытания различных методов определения консистенции были произведены проф. С. Даниловым (Повоочеркасск), ре-

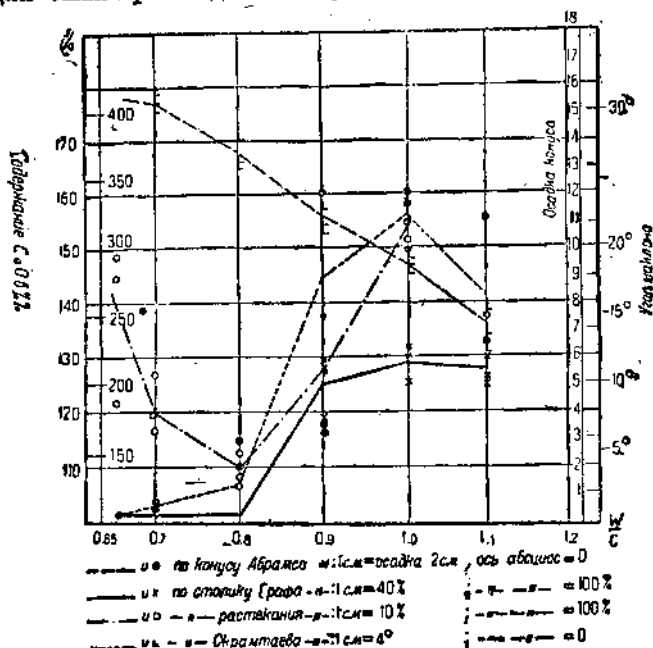


Рис. 24. График Данилова.

зультаты этих испытаний изображены на рис. 24. Наглядно видно, что при столике Скрамтаева имеется закономерное изменение показаний в широких пределах; при других приборах — только в узких пределах.

Вторым методом, разработанным в СССР, для определения пластичности бетона является способ, предложенный на Днепрострое в применении к бетону для плотин. Пластичность считается достаточной, когда рабочий погружается в бетон под действием собственного веса на глубину от 10 до 20 см.

2. Влияние консистенции на прочность бетона

Консистенция (пластичность) бетона является одной из важнейших характеристик бетона в производстве. Выше уже были описаны употребительные методы определения консистенции. В дальнейшем будем ссылаться на наиболее пока употребительный метод измерения осадки конусом Абрамса.

Консистенция бетона зависит от многих причин, во всяком случае не менее чем от трех главных причин: а) от количества воды (водоцементного фактора), б) от пропорций в смеси и в) от крупности инертных материалов. Кроме того должно иметься влияние гранулометрического состава инертных, формы зерен и пр., однако учет этих факторов весьма затруднителен.

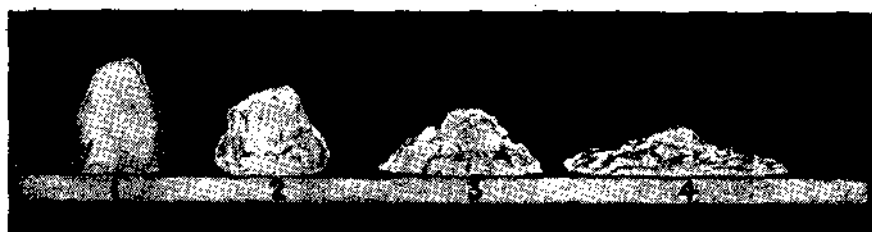
Выяснить влияние консистенции на прочность бетона можно только при сохранении постоянными во всех опытах состава бетона и модуля крупности смеси инертных M_{cm} .

Приведем ниже таблицу из опытов лаборатории украинского Института сооружений о влиянии консистенции при различных составах и модуле крупности смеси $M_{cm} = 6$ (цемент активности $R_d = 220 \text{ кг/см}^2$).

Таблица 17

Состав смеси цемент инертн.	Временное сопротивление кг/см^2 при осадке конуса		
	1,5—2,5 см	7—8,5 см	11—13 см
1:6	212	182	162
1:7 $\frac{1}{2}$	183	154	134
1:9	150	128	108

На основании этой таблицы можно сказать, что прочность бетона с увеличением осадки конуса уменьшается, причем грубо можно определить



R	212	182	162	120 кг/см^2
-----	-----	-----	-----	----------------------

Рис. 25. Понижение прочности с повышением пластичности.

это понижение в 5 кг/см^2 на каждый сантиметр увеличения осадки конуса (при цементе с $R_d = 220 \text{ кг/см}^2$).

В силу этого следует на работах строго ограничить осадку конуса только необходимой величиной, зависящей от рода возводимых конструкций и способа транспортировки бетона.

Наглядно видно понижающее влияние увеличения пластичности на прочность бетона из рис. 25 (при одинаковом составе бетона 1:2:4).

Характер зависимости консистенции, выраженный осадкой конуса, от вышеуказанных факторов представлен графиком (рис. 26)¹.

На графике изображены линии зависимости $Sl = f\left(\frac{W}{C}\right)$. Здесь Sl обозначена осадка конуса ($Slump$).

¹ Инж. Александрин, Строительный контроль качества бетона, изд. 3-е, 1931 г.

Из видно из графика, для достижения одной и той же осадки конуса (консистенции) необходимо тем большее 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_{cm}).

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

При данном составе бетона повышение степени пластичности достигается увеличением количества воды. Добавление воды, как сказано выше, понижает прочность бетона. Однако бетон жесткий с весьма малым количеством воды также дает малую прочность.

Наибольшую прочность имеет мягкий бетон с осадкой конуса 1—2 см. Это наглядно видно из приводимой ниже таблицы, взятой из американских опытов.

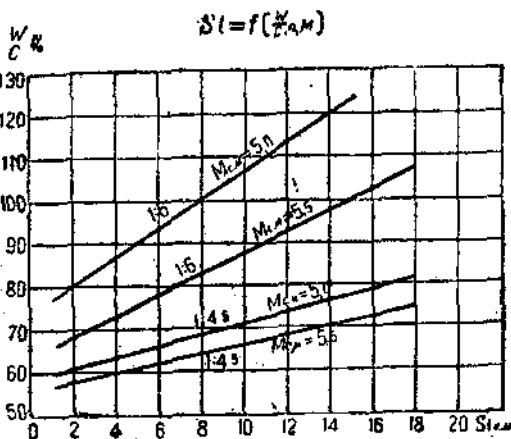


Рис. 26. Зависимость осадки конуса от $\frac{W}{C}$.

Таблица 18

№ попор.	Состав бетона	Количество воды по отношению к весу цемента	Осадка конуса, см	Прочность бетона кг/см ²		Пластичность	Удобство в работе
				через 7 дн.	через 28 дн.		
1	1:2:4	0,53	0	100	144	жесткий	весьма трудны в укладке удобообрабатываемые бетоны
2	"	0,64	0	197	290	"	
3	"	0,70	1—2	200	326	мягкий	
4	"	0,75	1—4	166	290	пластичный	
5	"	0,80	6—10	150	250	"	"
6	"	0,85	12—16	100	222	"	"
7	"	0,96	15—18	77	157	"	"
8	"	1,03	16—18	54	134	жесткий бетон	"

Границы применения опытов с конусом

При определении консистенции вышеуказанными методами с применением конуса 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 1 м³ не ниже 250—220 кг;
- 2) при применении в бетоне камневидной добавки, в состав которой

входят зерна крупнее 50 мм, опыты с конусом и с распылом не дают удовлетворительных результатов и требуют 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 нормального конуса могут быть произведены сравнительные испытания.

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 3 слоя), должно быть равно 85.

Бетон будет тем более пластичен, чем крупнее (по до известных пределов) окажется применяемая инертная добавка. Это явление находит себе объяснение в свойстве каменных сыпучих тел удерживать на своей поверхности и впитывать воды тем более, чем мельче зерна в этом сыпучем теле; поэтому получению пластичного бетона при прочих равных условиях способствует крупность применяемых агрегатов, в особенности песка.

Не всякий бетон с большим содержанием воды будет пластичным бетоном; установлено, что бетон будет пластичным лишь при условии, что зерна камневидной добавки будут находиться в некоторой последовательности по крупности. Именно, если кривые просеивания (на ситах) мелкой и крупной добавок укладываются в некоторые пределы, то от материала можно ожидать благоприятного влияния на осуществление пластичности (см. § 6).

Удобообрабатываемость бетона

Удобообрабатываемость бетона характеризуется (по предложению инж. Фрейкеля) наименьшей трудоемкостью при укладке. Удобообрабаты-



Рис. 27. Жесткий бетон.

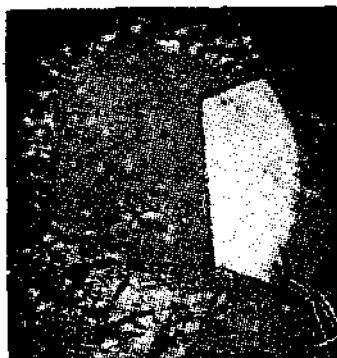


Рис. 28. Нормальный бетон.

ваемый бетон должен быть мягким и не расслаивающимся при транспортировании. Эти качества достигаются соответствующим подбором зернового состава добавок, в особенности достаточным содержанием песка в смеси (см. § 6). Однако содержание песка не должно быть чрезмерным во избежание большой потери прочности.

На приводимых здесь трех рисунках (рис. 27, 28, 29) изображены жесткий бетон с недостаточным содержанием песка, нормальный бетон и наконец состав с излишним содержанием песка.

По исследованиям инж. Френкеля на удобообрабатываемость бетона оказывает главное влияние не зерновой состав добавок, а вязкость цемента. Именно цементы вязкие (так называемые «мягкие») дают неудобообрабатываемые бетоны.

§ 6. Мелкие и крупные добавки для обычного бетона

Добавками для обычного бетона являются песок, гравий и щебень. Кроме этих естественных материалов добавками могут служить некоторые прочные искусственные материалы — шлаки, кирпичный щебень (см. § 18 и пун. 25 гл. V) и др.).

Все указанные материалы зачастую носят иное общее название: инертные заполнители, стощатели и т. п. Термин «инертные» материалы является не совсем правильным, так как характер поверхности, химический состав и другие свойства этих материалов оказывают существенное влияние на прочность бетона.

Гравием принято считать продукт естественного разрушения горных пород с крупностью частиц от 5 до 80 мм; кроме стандартного наименования «гравий» этот материал имеет местные названия: «жерства», «дресва», «галька» и т. п.

Щебнем называется материал от искусственного дробления горных пород с крупностью частиц от 5 до 80 мм.

Пески могут быть как естественные (речные, овражные, морские), так и искусственные (дробленные).

Свойства добавок для бетона, оказывающие наибольшее влияние на качество бетона, следующие: 1) крупность зерен и зерновой (гранулометрический) состав, 2) объем пустот, 3) поверхность и форма зерен, 4) чистота, 5) химический состав, 6) прочность.

Ниже рассматриваются все эти свойства.

1. Крупность зерен и зерновой (гранулометрический) состав

Влияние крупности зерен добавок на прочность и пластичность было известно уже давно. Именно было замечено, что с увеличением крупности зерен прочность и пластичность бетона повышается. Однако крупность оценивалась на глаз, метода математической оценки не имелось.

В настоящее время предложено несколько способов для оценки крупности добавок. Эти способы основаны главным образом на производстве «ситового анализа», т. е. просеивании через определенный набор сит.

Стандартный набор сит в СССР установлен из следующих 10 сит с

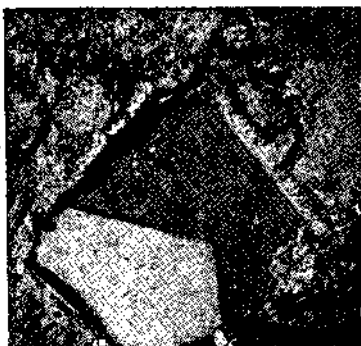


Рис. 29. Бетон с избытком песка.

размерами отверстий (в миллиметрах), близкими к американским ситам:

80	Сита для гравия и щебня (отверстия круглые)	2,5	Сита для песка (отверстия квадратные)
40		1,2	
20		0,6	
10		0,3	
5		0,15	

Сита изображены на рис. 30 и 31.

Границей (условной) между песком и гравием является сито с отверстием в 5 мм. Песком называется материал, состоящий из частиц мельче

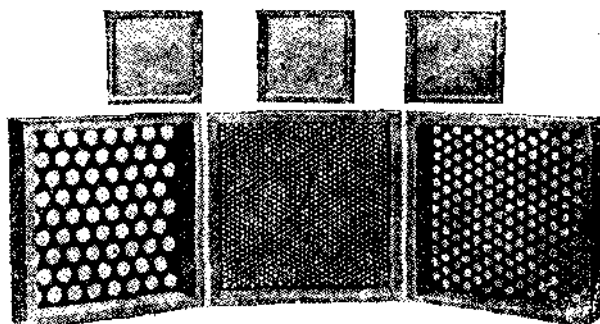


Рис. 30. Сита.

5 мм. Частицы, прошедшие через наиболее мелкое сито, носят название пыли. Полная классификация материалов по крупности будет следующая:

булыги >	80	мм
гравий, щебень	80—5	»
песок	5—0,15	»
пыль	0,15—0,005	»
глина <	0,005	»

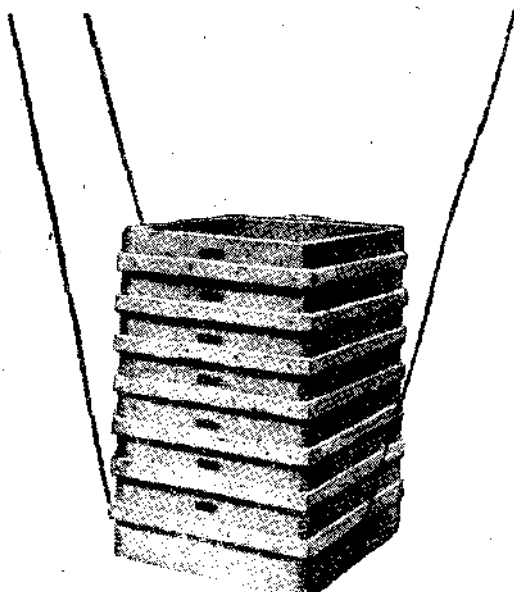


Рис. 31. Сита.

В Германии набор сит установлен из 7 шт. с отверстиями 40, 25, 12, 7, 3, 1, 0,20 мм, следовательно анализ производится более грубо, чем у нас. Границей между гравием и песком в Германии служит сито с круглыми отверстиями в 7 мм. Наибольшая крупность гравия или щебня устанавливается в зависимости от наименьших размеров конструкции и расстояния между арматурой. Размер зерен должен быть меньше $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{3}$ части наименьшего размера конструкции и $\frac{3}{4}$ расстояния между стержнями арматуры.

Для характеристики крупности зерен по методу Абрамса определяется так называемый «модуль крупности».

Для этого средняя проба материала высушивается, отвешивается навеска весом для песка 1 кг и для гравия (щебня) 10 кг и просеивается через 10 сит, начиная с наибольшего. На каждом сите определяются взвешиванием остатки в граммах и процентах; затем вычисляются так называемые полные остатки в процентах, представляющие собой остаток на данном сите плюс остатки на всех предыдущих (более крупных) ситах. Модуль крупности есть сумма полных остатков на ситах, деленная на 100%. Примеры определения модуля крупности даны в таблице.

Таблица 19

Размеры отверстий сит в миллиметрах	40	20	10	5	2,5	1,2	0,6	0,3	0,15	Прошло 0,15	Рас-трус-ка	Модуль крупн.
1. Песок. Навеска 1000 г												
Остатки в граммах	—	—	—	20	190	330	260	120	60	15	5	
Остатки в %	—	—	—	2,0	19,0	33,0	26,0	12,0	6,0	1,5	0,5	
Полный остаток в %	—	—	—	2,0	21,0	54,0	80	92,0	98,0	—	—	3,47 ~ 3,5
2. Гравий. Навеска 10 000 г												
Остатки в граммах	—	4 200	3 600	1 100	500	300	150	50	50	30	20	
Остатки в %	—	42,0	36,0	11,0	5,0	3,0	1,5	0,5	0,5	0,3	0,2	
Полный остаток в %	—	42,0	78,0	89,0	94,0	97,0	98,5	99,0	99,5	—	—	6,97 ~ 7,0
3. Щебень. Навеска 10 000 г												
Остатки в граммах	2 800	4 750	2 100	350	—	—	—	—	—	—	—	
Остатки в %	28,0	47,5	21,0	3,5	—	—	—	—	—	—	—	
Полный остаток в %	28,0	75,5	96,5	100	100	100	100	100	100	—	—	8,00

Нормами для модулей крупности являются: для песка — минимум 1,5, максимум — 4; для щебня и гравия минимум 5, максимум 8,5.

Хороший песок имеет M , равный 2,5 — 3,5. Модуль крупности гравия или щебня в значительной степени зависит от принятой наибольшей крупности.

Физического смысла модуль крупности не имеет; модуль является величиной отвлеченной.

Для выяснения вопроса, каким же образом составилось понятие о модуле, обозначим остатки на ситах в процентах следующими буквами:

80 мм — A	2,5 — a
40 » — B	1,2 — b
20 » — C	0,6 — c
10 » — D	0,3 — d
5 » — E	0,15 — e

Как вытекает из определения модуля крупности, чем больше размер частиц, тем большее число раз входит их остаток в подсчет модуля круп-

ности. Следовательно можно построить следующие формулы для определения модулей:

$$\text{гравия } M_r = \frac{10A + 9B + 8C + 7D + 6F}{100},$$

$$\text{песка } M_n = \frac{5a + 4b + 3c + 2d + e}{100}.$$

Примечание. Заметим, что в вышеприведенные формулы можно подставлять остатки не в процентах, а в граммах; в таком случае в знаменателе необходимо поставить общий вес взятой пробы материала. Подсчет не по таблице, а по формуле является особенно удобным в случае, когда навеска выражается не целым числом грамм и вычисление процентов являлось бы более сложным, чем умножение на соответствующие коэффициенты.

Опыт показывает, что крупные частицы повышают прочность бетона, поэтому их влияние при подсчете модуля крупности учитывают усиленным образом, помножая их на тем больший коэффициент, чем крупнее сито.

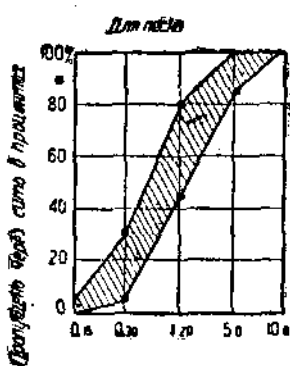


Рис. 82. График песка.

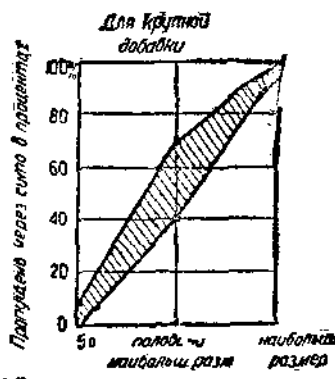


Рис. 83. График щебня.

Модули крупности обычно определяются отдельно для песка и щебня (гравия). Имея эти данные, легко определить модуль крупности и смеси песка и щебня, если известно весовое соотношение между ними в смеси $m:n$.

Именно модуль крупности смеси

$$M_{см} = \frac{mM_n + nM_r}{m + n},$$

где M_n — модуль крупности песка, M_r — щебня (гравия).

Модуль крупности широко вошел в практику СССР, однако это понятие не может достаточно характеризовать крупность материала по следующим причинам:

1. При одинаковых модулях крупности материалы могут иметь различные комбинации зерен (различный зерновой состав); при этом прочность бетона получится неодинаковая. Модули крупности могут однозначно характеризовать материалы только при подобных зерновых составах.

2. Наибольший модуль крупности можно получить при наличии одних крупных зерен; однако при этом будет иметься большой объем пустот, и прочность бетона будет понижена.

Ввиду указанных недостатков модуля крупности это понятие не полу-

для применения в Германии и начинает выходить из употребления в САСШ. Другими предложениями для оценки крупности материалов являются:

1) построение графиков зернового состава по данным ситового анализа и сравнение полученных результатов с так называемыми идеальными кривыми;

2) совместная оценка материала по модулю крупности и объему пустот (предложение Скрамтаева).

Получение графиков зернового (гранулометрического) состава возможно как для песка и гравия (или щебня) в отдельности, так и для их смеси.

Результаты просева песка, гравия (или щебня) в отдельности должны укладываться в заштрихованные пределы, изображенные на рис. 32 и 33, установленные Абрамсом. При этом материалы будут иметь наибольший объемный вес, чем при всяких других комбинациях зерен.

Эти же пределы даны в следующей табличке.

Таблица 20

Мелкая добавка (песок)			Крупная добавка (щебень, гравий)		
Размер отверстий сита в свету в мм	Должно проходить в % по весу		Размер отверстий сита в свету	Должно проходить в % по весу	
	от	до		от	до
10	—	100	$d_{\max}$	95	—
5	85	100	—	—	—
1,2	45	80	$1/2 d_{\max}$	40	70
0,3	2	30	5 мм	—	10
0,15	0	5	—	—	—

Здесь через $d_{\max}$ обозначен наибольший размер зерен инертных добавок, причем под этим подразумевается размер в свету круглого отверстия сита,

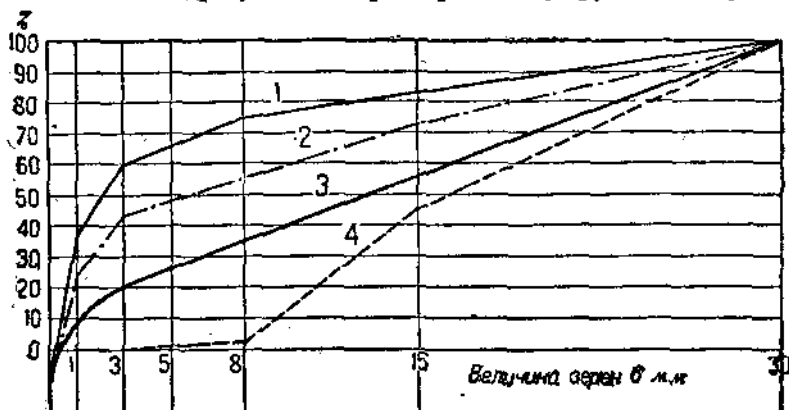


Рис. 34. Кривая Фуллера (3).

через которое проходит не менее 95% по весу от взятой пробы материала.

Идеальный зерновой состав смеси песка и гравия (щебня) представлен кривыми Фуллера, Боломея, Графа и др.

Для литого бетона наиболее подходит кривая Фуллера (рис. 34); однако последние опыты показывают, что она дает слишком жесткую смесь, по-

этому более подходящей является кривая, лежащая несколько выше кривой Фуллера.

Идеальная кривая Боломея строится по формуле

$$P = B + (100 - B) \sqrt{\frac{d}{D}},$$

где P — часть материала в процентах от навески, которая проходит через сито диаметром d ,

D — наибольшая крупность зерна, а B — коэффициент, имеющий следующие значения:

	Гравий и песок	Дробленый материал
пластичный бетон	$B = 10$	$B = 12$
литой бетон	$B = 12$	$B = 14$

Пример пользования кривой Боломея

Пусть например проектируется пластичный бетон; $B = 10$. Наибольшая крупность $D = 40$ мм.

$$\text{Тогда для } d = 40, P = 10 + (100 - 10) \cdot \sqrt{\frac{40}{40}} = 100.$$

$$d = 30, P = 10 + (100 - 10) \cdot \sqrt{\frac{30}{40}} = 88,$$

$$d = 20, P = 10 + (100 - 10) \cdot \sqrt{\frac{20}{40}} = 73,5 \text{ и т. д.}$$

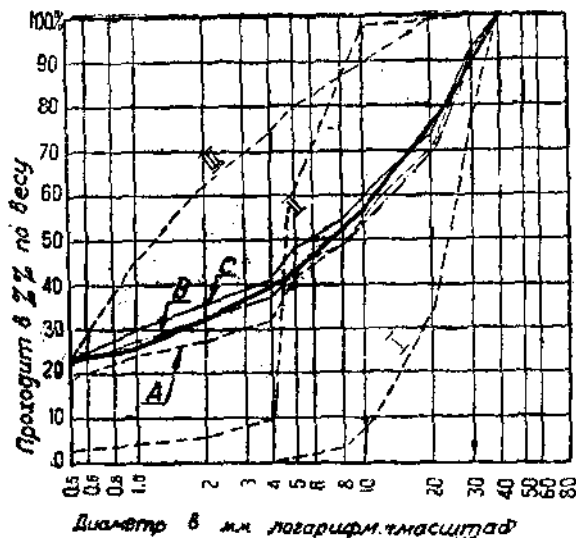


Рис. 35. Кривая Боломея.

По полученным значениям P строится «идеальная» кривая, которая нанесена на рис. 35 жирной линией. Эта кривая может быть построена при любом наборе сит (в данном случае приведен швейцарский набор) в частности при стандартном наборе наших сит.

Предположим, что имеются песок и два сорта гравия. Гранулометрический состав материалов, включая и цемент, характеризуется табл. 22.

Кривые просева нанесены на рис. 35 со знаками: III, II, I. Берем ориентировочно три состава A, B и C в про-

центах, указанных в табл. 22, при общем составе бетона $1:6\frac{1}{2}$ наиболее употребительный; содержание цемента составляет:

$$\frac{100}{1 + 6,5} = 13,3\%.$$

Таблица 21

Сорт	Прониходит в процентах через сито, диаметр в мм									
	0,5	1	2	4	5	8	10	20	30	40
I (песок)	0	0	0	0	0	2	8	33	76	100
II (гравий)	3	4	5	11	61	80	97	99	100	100
III (гравий)	23	46	61	74	81	85	90	99	100	100
Цемент	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Гранулометрический состав смеси можно определить без просева вычислением.

Возьмем например состав А: через сито 40-мм проходят все 100%. Через сито 30-мм пройдут 76% I сорта и по 100% II и III сортов и цемента, а следовательно:

$$45 \times 0,76 + 20 + 21,7 + 13,3 = 89,2\% \text{ всей смеси.}$$

Через сито 20-мм пройдут 33% I сорта, 99% II сорта, 99% III сорта и 100% цемента, а следовательно:

$$45 \times 0,33 + 20 \times 0,99 + 21,7 \times 0,99 + 13,3 = 69,4\% \text{ всей смеси.}$$

Через сито 10-мм пройдут 8% I сорта, 97% II сорта, 90% III сорта, 100% цемента, а следовательно:

$$45 \times 0,08 + 20 \times 0,97 + 21,7 \times 0,90 + 13,3 = 55,9\% \text{ всей смеси.}$$

Вычисленный гранулометрический состав смеси А, В и С нанесен на чертеж (рис. 35), причем состав А обозначен линией ----, состав В — линией и состав С — тонкой сплошной линией.

Если полученные кривые А, В и С мало отличаются от идеальной, то ведем дальнейшее исследование подобранных составов. В противном случае необходимо внести изменения в смесь, сообразуясь с видом ее кривой, проделать вычисления и нанести на чертеж новую кривую смеси. Подобным образом можно путем постепенных приближений подойти к нескольким кривым, которые при данных материалах наиболее подходят к идеальной. Не всегда удастся получить достаточно удовлетворительные кривые смеси, так как в распоряжении имеются материалы определенных лишь составов. Тогда, если нельзя получить добавочный новый материал, приходится останавливаться на смесях, представляемых кривыми, наиболее близко подходящими к «идеальной», и вести дальнейшие испытания консистенции и прочности.

В данном примере кривые В и С весьма близко подходят к идеальной.

После того как построены графики просеивания, возможно отметить,

Таблица 22

Сорт	А	В	С
I (песок)	45	45	40
II (гравий)	20	12	10
III (гравий)	21,7	29,7	36,7
Цемент	13,3	13,3	13,3

что модуль крупности выражает собой в некотором масштабе площадь, ограниченную кривой просеивания (заштрихована на рис. 36).

В самом деле, обозначим полные остатки на ситах в процентах: на наиболее крупном сите — 0, на следующих — $a, b, c, d \dots n$.

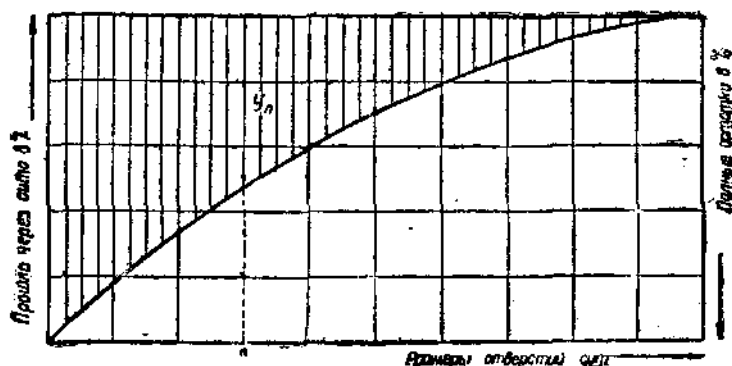


Рис. 36. График модуля крупности.

Площадь, заштрихованная на рис. 36, выразится формулой:

$$F = \left(\frac{0+a}{2}\right) K + \left(\frac{a+b}{2}\right) K + \left(\frac{b+c}{2}\right) K + \dots + \left(\frac{(n-1)+n}{2}\right) K = (a+b+c+\dots+n) K.$$

Следовательно площадь есть сумма полных остатков, умноженная на расстояние между ординатами графика k , которое должно быть равным между всеми ординатами.

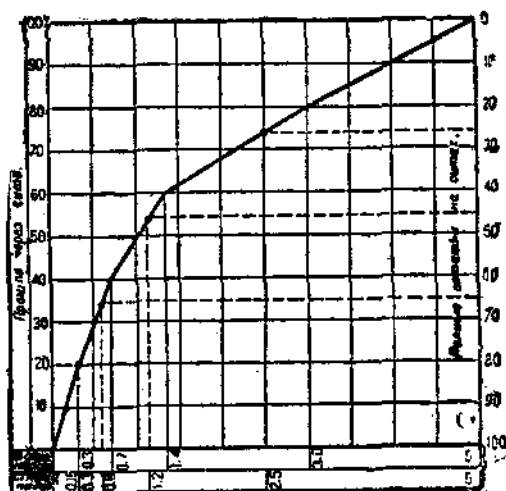


Рис. 37. График просеивания.

Модуль крупности $M = \frac{F}{k}$ (где k — масштаб).

При использовании нестандартным набором сит возможно построить график просеивания по любым ситам, затем определить ординаты, соответствующие стандартным ситам, и вычислить модуль крупности (рис. 73).

Вместо построения кривой просеивания достаточно определить для целей практики наиболее целесообразное соотношение между мелкой и крупной добавками. Если гравий (или щебень) содержит в себе песок, то его необходимо прибавить к отдельно имеющемуся песку.

Соотношение между песком и крупной добавкой $m:n$ заключается в пределах 1:1 до 1:2,5. Большее соотношение не применяется, так как составы с большим содержанием песка требуют весьма много воды для получения пластичного бетона и тем понижают прочность его. Меньшее

соотношение не употребляется вследствие получения бетона жесткого и с пустотами, не заполненными цементным раствором.

Рациональное соотношение между песком и крупной добавкой определяется следующими 4 способами:

1. По методу Абрамса устанавливается предельный модуль крупности смеси песка и гравия (щебня), чем и определяется соотношение между ними при заданных модулях песка и гравия.

Предельный модуль крупности берется из табл. 23, в зависимости от применения гравия или щебня, от наибольшей крупности материала и состава бетона.

Таблица 23

Номинальный состав	Размер зерен в миллиметрах от — до					
	0—10	0—20	0—25	0—40	0—50	0—80
1:8,2	3,95	4,75	5,15	5,55	5,95	6,40
1:7,0	4,05	4,85	5,25	5,65	6,05	6,50
1:6,0	4,20	5,00	5,40	5,80	6,20	6,60
1:4,7	4,40	5,20	5,60	6,00	6,40	6,85
1:3,5	4,70	5,50	5,90	6,30	6,70	7,15
1:2,4	5,05	5,90	6,30	6,70	7,10	7,55

Приведенные значения модуля крупности относятся к случаю применения песка и гравия, т. е. материалов, частицы коих имеют шарообразную форму.

Для остальных случаев надо внести следующие поправки:

1) для щебня из данных величин надо вычесть 0,25 (т. е. при составе 1:3,5 и крупности 0—25 предельный модуль для щебня будет не 5,90, а 5,65);

2) то же, при применении гравия с плоскими частицами;

3) то же, при применении высевов вместо песка;

4) если щебень прибавлен к песку в количестве не более 35% — уменьшение модуля не делается;

5) для конструкций, у которых наименьший размер по крайней мере в 10 раз больше наибольшего размера щебенки, к табличным величинам надо прибавить: для 20-мм размера — 0,10, для 40-мм — 0,20, для 80-мм — 0,30.

Надо иметь в виду, что применение отношений песка и щебня, дающих смесь с предельным модулем крупности, не может быть рекомендовано, ибо бетон получается слишком жестким при укладке. Лучше применить смесь с модулем крупности меньшим предельного на 5—7% (данные проф. Н. М. Беляева).

Зная предельный модуль смеси $M_{см}$ и модули отдельных материалов, определяем соотношение между песком и крупной добавкой (по весу):

$$\frac{m}{n} = \frac{M_k - M_{см}}{M_{см} - M_n}$$

2. По формуле Боломея. Считая крупной добавкой частицы больше 5 мм, определяем процентное содержание их в общем составе бетона,

например для наибольшей крупности $D = 40$ мм и пластичного бетона будет иметься: песка $P = 10 + (100 - 10) \sqrt{\frac{5}{40}} = 41,5\%$; щебня $58,5\%$ при составе бетона 1:6 содержание щебня в смеси песка и щебня будет:

$$58,5 \cdot \frac{(1+6)}{6} = 68,5\%;$$

при составе 1:7 $\frac{1}{2}$:

$$58,5 \cdot \frac{1+7,5}{7,5} = 66,5\%.$$

Необходимо отметить, что соотношение между песком и крупной добавкой по Абрамсу и Боломею весьма мало зависит от состава бетона, а в большей степени от наибольшей крупности материала.

Большим недостатком обоих способов является то, что соотношение между добавками устанавливается независимо от их зернового состава. В действительности щебень плохого зернового состава с большим объемом пустот потребует большей добавки песка, чем щебень хорошего состава; при несоблюдении этого правила нередко получаются неудобообрабатываемые бетоны, что обнаружилось на практике при применении таблицы Абрамса. С другой стороны, применение мелкого песка требует уменьшения содержания его в смеси во избежание большой водопотребности при изготовлении бетона.

Имея в виду указанные недостатки, рекомендуется пользоваться третьим и четвертым экспериментальными способами (Скрамтаева), дающими наилучшее решение.

Третий способ состоит в выборе по нижеприводимой табличке нескольких соотношений между песком и щебнем в зависимости от их средней крупности; затем изготавливаются бетоны одинаковой пластичности и с одинаковым $\frac{W}{C}$, но с различными соотношениями песка к щебню, и выбирается состав наиболее удобообрабатываемый и экономичный (подробнее см. на стр. 84 — 86).

Таблица 24

Щебень	Песок крупностью более 0,60 мм			Песок крупностью менее 0,60 мм		
Щебень (гравий) крупностью более 20 мм.	1:1	1:1,5	1:2	1:1,5	1:2	1:2,5
Щебень (гравий) крупностью менее 20 мм.	1:1,5	1:2	1:2,5	1:2	1:2,5	—

Примечание. Крупность материалов определяется на-глаз или при помощи сит с размером отверстий 0,60 и 20 мм (из стандартного набора сит, если таковой имеется на объекте). При этом материалы считаются крупнее 0,60 или 20 мм, если более $\frac{1}{2}$ материала остается на данном сите.

Четвертый способ состоит в изготовлении бетона одного и того же состава (например наиболее употребительного 1:6—1:7) с различными соотношениями между песком и щебнем. При этом пластичность получается

линейная, имеющая максимум при некотором определенном соотношении между песком и крупной добавкой. Положение максимума почти не зависит от состава бетона, как показывает рис. 38.

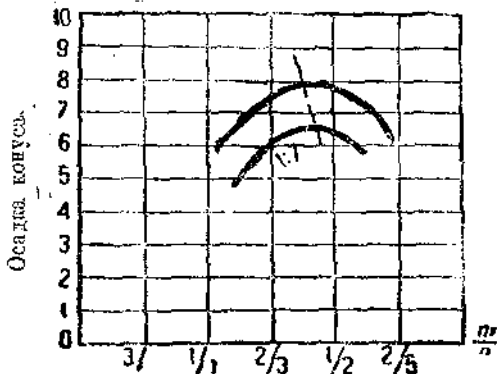
Слишком малое содержание песка брать не рекомендуется, так как получается бетон с пустотами и неудобный в обработке (жесткий).

Объем пустот. До развития современных теорий о бетоне объему пустот в материалах уделялось большое внимание; считался материал тем лучшим, чем меньше объем пустот. Это являлось неправильным потому, что материал и крупный и мелкий может иметь одинаковый объем пустот, прочность же бетона будет больше при применении крупного материала.

Например при зернах шарообразной формы диаметром d , расположенных рядами, в 1 кубической единице, будет иметься всегда следующий объем пустот независимо от диаметра зерен (рис. 39):

$$V = 1 - \frac{\pi d^3}{6} \cdot \left(\frac{1}{d}\right)^3 = 1 - \frac{\pi}{6} = 47,7\%.$$

Рис. 38. Определение максимальной пластичности.



В действительности в песке и гравии вследствие наличия мелких частиц, заполняющих пустоты крупных, объем пустот всегда бывает меньше теоретического (47,7%). У щебня благодаря неправильной формы его зерен объем пустот бывает больше (до 55% в рыхлом виде).

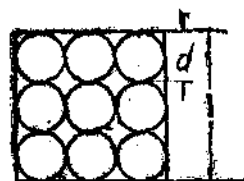


Рис. 39. Расположение шаров.

Американское понятие о модуле крупности не считалось вовсе с объемом пустот, предполагая хороший зерновой состав материала, что является не вполне правильным. В практике применяются чаще материалы плохого зернового состава, для которых определение объема пустот в качестве дополнительной характеристики необходимо. Изучение влияния объема пустот в песке на прочность растворов и бетона, приводимое ниже, было произведено автором.

2. Влияние различных песков на прочность цементного раствора и бетона

Новый метод оценки гранулометрического состава песка

Влияние песков изучалось главным образом на цементных растворах и в меньшей степени на бетонах. Для опыта с цементными растворами было применено тринадцать различных песков как природных, так и искусственных смесей. Все пески удовлетворяли условиям чистоты, изложенным ниже в разделе 3. Из каждого песка были изготовлены нормальным образом кубики со сторонами размером 7,07, см, состава 1:3 по весу с одним и тем же цементом (амвросиевский цемент с активностью $R_d = 227 \text{ кг/см}^2$).

Присутствие марганца узнается по голубому или синему цвету шлака; применение такого шлака нежелательно.

Хороший шлак имеет белый цвет, светлосерый, светложелтый.

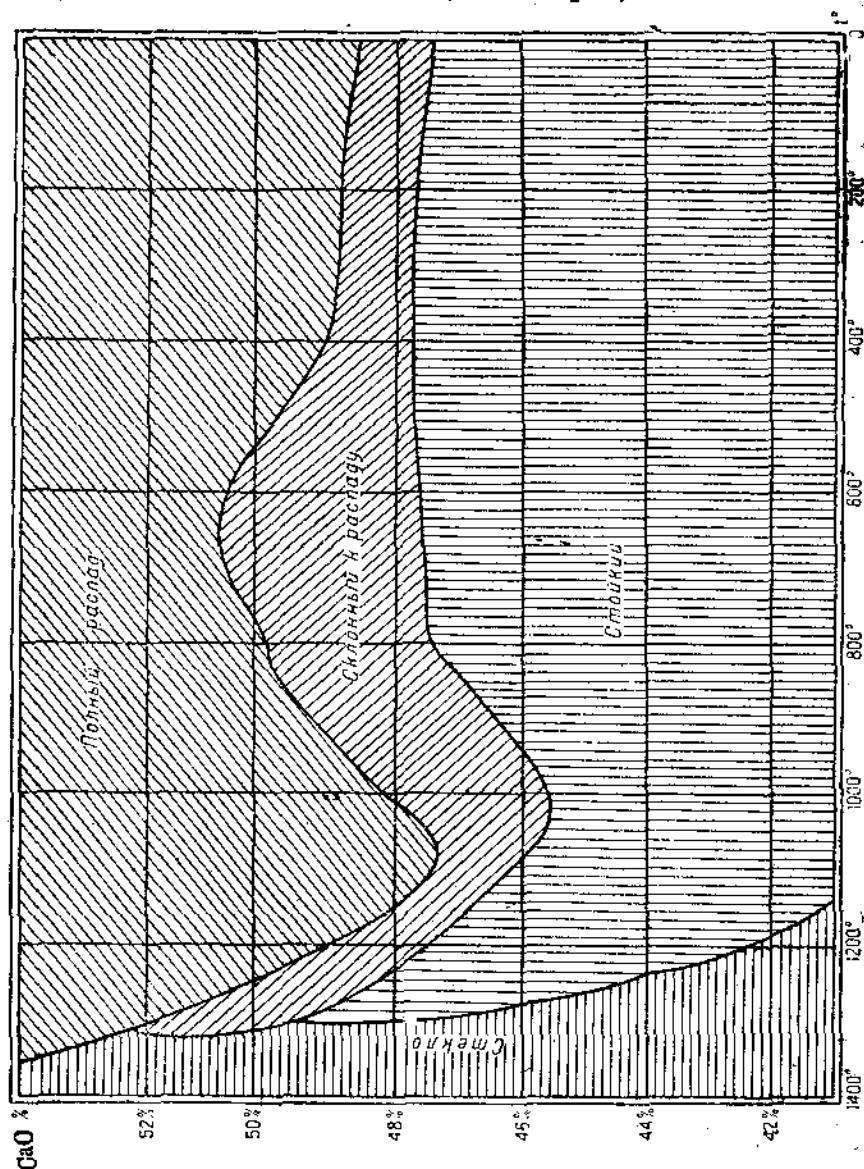


Рис. 58. Диаграмма Гутмана.

Из всего изложенного вытекает, что применение доменного шлака в бетоне может иметь место как при кислом, так и при основном шлаке.

Кислый шлак может применяться в качестве мелкой инертной добавки. кусков пористого заполнителя или прочной и плотной щебенки и гидравлической добавки.

Основной шлак дает возможность применять его в бетоне только в качестве мелкой добавки, желательно в размолотом виде. Более эффектив-

ным будет применение гранулированного шлака для производства цемента (см. стр. 9).

Ниже излагаются основные свойства различных видов шлака, важные для применения в бетоне.

1. Щебень из кислого негранулированного шлака получается дроблением застывших глыб. Щебенка имеет остроугольную форму и шероховатую поверхность. Структура ячеистая вследствие образования газов при застывании шлака.

Объемный вес в рыхлом виде $1,8-2,8 \text{ т/м}^3$, в среднем $2,5 \text{ т/м}^3$; уд. вес $3,1$, т. е. все веса тяжелее, чем щебня и гравия (для сравнения щебень имеет об. вес $1,3-1,4$; уд. вес $2,5$). Пустот $40-45\%$. Влагоемкость всего $2\frac{1}{2}-4\frac{1}{2}\%$. Временное сопротивление раздроблению $450-1000 \text{ кг/см}^2$.

Сцепление шлака с раствором в силу шероховатостей поверхности хорошее. Повидимому имеет место и химическая реакция между шлаком и раствором, так как вокруг шлака наблюдается кольцо другого цвета, чем раствор.

Долговечность шлака подтверждена наблюдениями в Америке над целым рядом сооружений в течение 50 лет.

Прочность бетонов на гранитном щебне и на шлаковом практически одинакова, как показали опыты Абрамса и др.

2. Мелкий шлак (гранулированный) идет в бетон взамен обычного песка, уменьшая объемный вес бетона. Объемный вес шлака $600-1100 \text{ кг/м}^3$.

Объемный вес шлакобетона на таком шлаке при обычных составах (около $1:2:4$) — $1,35 \text{ т/м}^3$.

По опытам Бурхарца при замене естественного песка в бетоне весьма легким шлаком (об. вес $< 650 \text{ кг/м}^3$) прочность бетона уменьшается; при более тяжелых шлаках (об. вес $1000-1100 \text{ кг/м}^3$) прочность выше, чем у песчаных бетонов.

3. Термозит — пористый шлаковый щебень — взамен пемзы для теплого бетона. Изготавливается в Германии и у нас пока в небольшом количестве на Уральских заводах. Для получения термозита кислый шлак приводится в соприкосновение с небольшим количеством воды путем выливания расплавленного (не остывшего) шлака на влажную тугоплавкую среду (песок или глина с малым содержанием органических примесей). Слой песка должен быть не менее 20 см , влажность не менее 10% . В силу образования пара шлак застывает в виде пористой массы; степень пористости меняется по высоте слоя; внизу поры наиболее крупные, и количество их большое; верхняя часть представляет собой сплошную корку. Степень пористости может регулироваться толщиной выливаемого слоя и влажностью основания.

Возможно, что вспучиванию шлака содействует кроме паров воды образование сероводорода. Желательно применение шлаков с высоким содержанием SiO_2 , при котором получается большая прочность.

Объемный вес $0,30-0,40 \text{ т/м}^3$ (для сравнения пемза $0,45-0,75 \text{ т/м}^3$).

Прочность в кубиках размером $5 \times 5 \times 5 \text{ см}$ $15-25 \text{ кг/см}^2$.

По прочности бетон на термозите почти одинаков с пемзовым бетоном.

Применение всех перечисленных видов шлаков в железобетоне является вполне допустимым; ржавление арматуры не наблюдалось за исключением случаев тощих составов бетона, где изменение арматуры возможно и при обычных инертных материалах (песке и гравии).

Дополнения

1. Бессемеровские шлаки кислые — благодаря большому содержанию железа плотны и тяжелы, количество их невелико, почему в строительстве не применяются.

2. Томасовские шлаки дают ценное удобрение, в строительстве не применяются.

3. Мартеновские шлаки получают в небольшом количестве, часто идут снова в шихту; применение в строительстве небольшое — при кислом составе — как щебня для обычного бетона (тяжелый щебень с объемным весом 2000 кг/м^3 в рыхлом состоянии) и в гранулированном виде.

3. Керамзит¹

(искусственная пемза)

Керамзит есть материал пузырчатого строения с замкнутыми сплавленными ячейками, получаемый посредством особого режима обжига кирпичных глин до температуры спекания, обычно $1100-1150^\circ \text{C}$.

Производство керамзита может быть организовано в любом месте СССР, располагающем кирпичными глинами, за исключением Юга, где его могут заменить природные естественные материалы, как-то: пемза, туф и пр. Однако глины могут встретиться как непосредственно пригодные для выработки керамзита, так и требующие добавки плавней — окислов железа.

По предварительной калькуляции на основе опытов ползаводского характера стоимость 1 м^3 щебенки керамзита определяется около 10 руб.

Керамзит найдет применение как легкий мало влагоемкий заполнитель (щебенка) для приготовления неармированных и армированных теплобетонных, заменяя собой естественные, издавна привозимые материалы — пемзу и арктический туф, и таким образом значительно удешевит применение теплобетонных.

Кроме того керамзит представляет химически инертный заполнитель, не вызывающий разрушения железной арматуры; в большинстве случаев он не содержит серы, в меньшем числе случаев содержание ее весьма незначительно (зависит от случайного содержания в сырьевом материале). Стоимость керамзита по сравнению с естественными его аналогами, пемзой и подобными ей материалами меньше — имеем для центральной части СССР стоимость пемзы более 20 руб за 1 м^3 , а керамзита 10 руб. за 1 м^3 . По механической прочности при одинаковом объемном весе керамзит стоит несколько выше пемзы.

Так, для пемзы при весе в 550 кг в 1 м^3 временное сопротивление сжатию равно 20 кг/см^2 , для керамзита при весе 500 кг в 1 м^3 временное сопротивление сжатию равно 23 кг/см^2 .

Керамзит может быть изготовлен различного объемного веса: от 300 кг/м^3 до 1000 кг/м^3 (при желании и выше).

Таким образом есть возможность иметь пористый материал различной механической прочности, так как с увеличением объемного веса увеличивается прочность.

Для производства керамзита пригодны большинство кирпичных глин, однако технология производства стоит в зависимости от их специальных свойств.

¹ По данным проф. Е. В. Костырко.

Большинство глин имеет свойство вспучиваться, образуя замкнутые поры, при температурах, лежащих в пределах $1100\text{--}1400^\circ\text{C}$, причем это свойство стоит в зависимости от степени содержания окислов железа, а частью от других еще не выясненных причин.

В зависимости от вышеуказанных свойств глин изменяется и технология производства керамзита. Особые сорта глины, легко вспучивающиеся при низких температурах, не нуждаются в предварительной обработке, почему производство материалов рассматриваемого типа может быть осуществлено непосредственным обжигом сырья, что и практикуется в американском «Хейдите». Для того чтобы расширить сырьевую базу и сделать большинство кирпичных глин пригодным, необходимо несколько усложнить технологию производства керамзита, а именно:

- 1) увеличением содержания окислов железа, в среднем до 6% , путем введения недостающего количества их в глиняном сырье;
- 2) для глин плотных — ради равномерности вспучивания — путем введения в глиняную массу органической крошки.

Таким образом в первой стадии опытного производства, до изучения свойств различных сортов глины, принято изменение их свойств двумя вышеуказанными приемами.

Впоследствии в зависимости от избранного месторождения глины технология производства керамзита может упроститься, так как одна или обе дополнительные операции выпадут.

Производство керамзита по принятому опытным методом распадается на три операции.

1-я операция — подготовка глиняной массы

При выборе глины следует обращать внимание на содержание в ней окисных форм железа в виде Fe_2O_3 . Обычно желательное содержание окисного железа должно быть не менее 6% ; при меньшем содержании окислы железа вводятся в глиняную массу в виде тонко измельченной железной руды — «огарка» и других содержащих Fe_2O_3 материалов.

Затем при формовке сырца на ленточном прессе, во избежание сильной запрессовки сырца, что затрудняет вспучивание массы, следует вводить измельченную органику в виде древесных опилок, торфяной крошки и пр.

Таким образом шихта керамзита будет состоять из:

- 1 объема воздушно-сухой глины,
- 1 объема мелкой органики (опилки, торф и пр.),
- добавки красной железной руды до $6\text{--}8\%$ (учитывая железо, содержащееся в самой глине).

При формовке сырца керамзита нет надобности заботиться о правильности его формы. Форма сырцу керамзита придается только для того, чтобы можно было произвести садку сырца в печь, так как после обжига сырец совершенно теряет свою полученную первоначальную форму, выходя из нечи после обжига в виде комового материала.

2-я операция — сушка и обжиг

Обжиг керамзита следует вести в тоннельных печах с невысокой садкой (не превышающей 60°) и с достаточно хорошо регулируемой температурой в пределах от 900 до 1150°C .

Обычные кирпичные печи для обжига керамзита непригодны, так как получить пористый материал по всей толще не представляется возмож-

ным. Режим обжига керамзита при сырце размером нормального строительного кирпича следующий:

1. Сушка 5 — 6 час.
2. Нагрев до 800° С в зависимости от технических возможностей печи 3 — 4 >
3. Выдержка при 800—900° С... 4 — 5 >
4. Переход к температуре 1100° С 0,5—1 >
5. Выдержка при 1100—1150° С 1 — 2 >
6. Охлаждение 5 >

1. Перед посадкой в печь сырец должен быть подсушен до той степени, которая дает возможность садки в 6 рядов. Полное удаление влаги происходит уже в печи в течение 5—6 час.

2. Нагрев до 800° С ведут при равномерно повышаемой температуре. В случае вынужденного увеличения времени нагрева печи до 800° С по техническим особенностям печи следует учесть время начала выгорания органики и вычесть его из выдержки при 800—900° С.

3. За время выдержки при 800—900° С происходит выгорание мелкой органики с таким расчетом, что к моменту повышения температуры до 1100° С (температура спекания) мелкая органика уже успела выгореть полностью по всей толще сырца. При 1—2 час. выдержки при 1100—1150° С происходит вспучивание массы. Регулируя время вспучивания, можем получить керамзит различной структуры — от мелкопористой до поризованной, а следовательно и различного объемного веса.

3-я операция

3-я операция состоит в превращении комового материала в заполнитель для растворов и бетонов надлежащего гранулометрического состава. Опыты показали пригодность для означенной цели щековых дробилок и дробилки Клеро.

Вышеописанная технология производства керамзита может быть упрощена в направлении обжига сырцевой глины во вращающихся печах, причем выпадут приготовление сырца и добавка мелкой органики, что значительно удешевит производство.

Лабораторные опыты показали полную возможность вспучивания кирпичных неформованных глин в лабораторных печах. В этом случае выдерживание при 800—900° С в режиме обжига совершенно выпускается. Обжиг ведется равномерным и скорым поднятием температуры до 1100—1150° С.

Основные свойства материала

1. Керамзит может быть получен объемным весом от 0,3 до 1,2 т/м³.
2. Механическая прочность колеблется с изменением объемного веса следующим образом (см. табл. 51):

Таблица 51

Объемный вес в т/м³	Временное сопротивление сжатию в кг/см²
0,40	14,6
0,47	22,4
0,53	28,5
0,60	34,5
1,13	58,6

3. Теплопроводность керамзита как строительного материала стоит в зависимости от его объемного веса.

Теплопроводность керамзита определенного объемного веса может быть принята равной теплопроводности естественной пемзы такого же объемного веса.

4. Влажность керамзита лежит в пределах долей процента.

Влагоемкость стоит в зависимости от пористости (объемного веса) материалов. Керамзит не влагоемок, так как его поры совершенно замкнуты.

Влагоемкость зависит от отношения объема к площади поверхности, поскольку насыщаются открываемые при дроблении поры.

Куски керамзита днями и неделями плавают на воде.

Керамзит совершенно водостойчив, также стоек против атмосферных влияний.

§ 19. Проектирование составов теплого бетона

До сего времени еще не создано полной теории проектирования составов теплого бетона, подобной стройной теории для обычного бетона (см. § 8). Возможно привести только имеющиеся в литературе первые попытки создания такой теории¹.

Кроме того ниже дается практическая таблица для ориентировочного суждения о прочности и весе теплого бетона из различных материалов, собранная по данным различных построек и лабораторий.

Задача создания теории теплого бетона несравненно труднее законченной в основных чертах теории обычного бетона. Кроме вопросов прочности и удобства работ для теплого бетона должен ставиться также вопрос о его теплотехнических свойствах.

Возникают еще и вопросы о воздухопроницаемости, влагоемкости и пр., которые однако могут быть изъяты из рассмотрения, так как имеется возможность путем штукатурки в значительной степени парализовать недостатки некоторых видов теплого бетона в отношении именно этих свойств.

Имея в виду сложность вопроса, большое разнообразие материалов, пригодных для теплого бетона, и небольшое количество опытов, можно только положить начало созданию теории проектирования теплого бетона с целью дать элементарные правила для немедленного применения на практике.

Дальнейшее изложение относится только к теплым бетонам, изготовленным из материалов неорганических. Наиболее применима излагаемая в дальнейшем элементарная теория к обычным шлакобетонам (на котельном шлаке), бетону с кирпичным щебнем, опоккой, пензловому бетону и т. п.

Теплотехнические свойства теплого бетона в соответствии с теорией проф. В. П. Некрасова принимаются в дальнейшем тем выше, чем меньше объемный вес бетона. Поэтому ниже излагается теория проектирования бетона заданного объемного веса, а кроме того — заданной прочности и пластичности.

Необходимо различать два вида теплого бетона.

1. Теплый бетон, изготавливаемый по принципам обычного бетона. Такой бетон главным образом применяется теперь на строительных работах. Для него берутся составы вроде 1:4:8, 1:5:10 и т. п., т. е. с соотношением мелкого и крупного материала, как для обычного бетона; кроме того допускается крупный заполнитель разнообразной крупности. В результате получаются, как для обычного бетона, заполнения пустот

¹ Впервые было изложено в книге инж. Скрябина, «Теплый бетон», изд. Института бетонов, Л. 1931.

мелким материалом и поэтому большой объемный вес (а следовательно и большая теплопроводность) такого бетона. Так например, шлакобетон на постройках имеет объемный вес 1500 кг/м^3 при прочности $20\text{—}40 \text{ кг/см}^2$ (последнее редко). Назовем в дальнейшем изложении ради простоты такой вид теплого бетона «обычным».

2. Крупнопористый теплый бетон, изготавливаемый по предложению автора следующим образом:

а) Крупный заполнитель должен быть однородным по крупности для получения возможно большего объема пустот. Опыты показали, что объем пустот получается большой ($50\text{—}55\%$) в том случае, если материал заключается в пределах 2 сит с размерами отверстий, различающимися не более чем в 2 раза (например крупность $10\text{—}20 \text{ мм}$ или $20\text{—}40 \text{ мм}$). При большем соотношении между размерами отверстий объем пустот заметно уменьшается.

Крупный заполнитель должен быть возможно более легким, но достаточно прочным и не обладать способностью распадаться со временем на более мелкие куски (в этом отношении не все шлаки пригодны).

Особо нужно отметить, что даже при тяжелом заполнителе (когда отсутствует легкий заполнитель) из бетона данного типа возможно все же изготовить нетяжелый бетон и тем уменьшить толщину стен. Пример такого использования предложения автора имеется в работах Ленинградского Института сооружений, изготовившего сравнительно легкий бетон из тяжелого заполнителя — хибинского гнейса, с объемным весом $1,80 \text{ т/м}^3$ и прочностью около 40 кг/см^2 при расходе цемента около 200 кг/м^3 (см работу инж. В. Чернышева в бюллетене Ленинградского ВИС № 24 за 1932 г.).

б) Мелкого заполнителя, утяжеляющего бетон, вовсе не должно быть.

в) Цементное тесто готовится с малым водоцементным фактором $0,25\text{—}0,30$ по весу (соответствующим приблизительно нормальной консистенции теста при испытании цемента) для получения возможно большей прочности цементной оболочки.

г) Крупный заполнитель обязательно насыщается водой для лучшего окатывания зерен в цементном тесте и для того, чтобы способствовать в дальнейшем твердению цемента.

д) Должно производиться тщательное перемешивание материала до полного обволакивания щебенки. При укладке в формы должно вестись только легкое штыкование, но не трамбование.

В результате применения изложенных принципов получается пористый материал с крупными, но замкнутыми порами и весьма легкий. Так например, бетон, изготовленный по такому способу на цементе и обычном кирпичном щебне состава $1:10$, имел объемный вес 1200 кг/м^3 (вместо обычного $1900\text{—}2000 \text{ кг/м}^3$) и прочность через 28 дней 12 кг/см^2 , т. е. равную например средней прочности одесского ракушечника. Такой бетон может быть применен для заполнения и несущих стен, в которых расчетное напряжение не превышает $2\text{—}3 \text{ кг/см}^2$.

Новый бетон в замесе имеет совершенно необычный вид: он конечно не пластичный, но в то же время легко перемещается и удобен для укладки, так как цементное тесто образует хорошую смазку на щебенках. Прочность такого вида бетона зависит от расхода и качества вяжущего вещества, а также от прочности заполнителя.

Особо отметим, что такой бетон имеет выход бетона $0,85$ вместо обычного выхода $0,50\text{—}0,60$. Это дает дополнительную экономию в ма-

териалах кроме получаемой вследствие уменьшения толщины стен. Большая экономия позволяет считать возможным применение для нового материала портланд-цемента и равноценных ему материалов, чтобы получить прочную цементную оболочку.

Проектирование составов теплого бетона, указанных выше двух видов, производится следующим образом.

1. Обычный теплый бетон

Определение объемного веса бетона заданного состава возможно произвести следующим образом.

Пусть объемные веса материалов следующие:

вяжущего вещества	z кг/м ³	} в сухом
мелкого заполнителя	a "	
крупного "	b "	
состав бетона по объему	$1 : m : n$	
		рыхлам
		виде.

Выход для данного вида бетона принимаем 0,55. Увеличение веса цемента вследствие поглощения воды принимаем в 1,30 раза.

Тогда вес 1 м³ бетона будет:

$$G = \frac{1,30 z + am + bn}{0,55 (1 + m + n)} \quad (1)$$

Пример 1-й. Для бетона состава 1:4:8 применены следующие материалы:

цемент при	$z = 1300$ кг/м ³
песок обыкновенный при	$a = 1500$ "
кирпичный щебень при	$b = 800$ "

(в рыхлом состоянии с 50% пустот):

$$G = \frac{1,30 \cdot 1300 + 4 \cdot 1500 + 8 \cdot 800}{0,55 \cdot 13} = 1970 \text{ кг/м}^3,$$

что соответствует действительности.

Пример 2-й. Для бетона состава 1:3:7 применены следующие материалы:

цемент при	$z = 1300$ кг/м ³
шлак котельный мелкий при	$a = 800$ "
шлак котельный крупный при	$b = 700$ "

(в данном случае объемный вес мелкого шлака принят большим, вследствие наличия в нем значительного количества неперегоревшего угля; уголь имеет больший удельный вес, чем шлак):

$$G = \frac{1,30 \cdot 1300 + 3 \cdot 800 + 7 \cdot 700}{0,55 \cdot 11} = 1490 \text{ кг/м}^3.$$

Такой объемный вес получен и из опытов.

Задачу проектирования бетона заданного объемного веса можно разрешить, только задавшись предварительно соотношением $\frac{n}{m} = k$ между крупным и мелким заполнителями (обычно теперь применяют соотношение $k = 2$).

Тогда состав бетона легко определяется расчетом, а именно из формулы (1) получим:

$$\text{объем мелкого заполнителя } m = \frac{1,30x - G \cdot 0,55}{G \cdot 0,55(1+k) - (a+bk)}, \quad (2)$$

$$\text{объем крупного заполнителя } n = km. \quad (3)$$

Кроме решенной задачи о получении бетона заданного объемного веса необходимо удовлетворить также второму и третьему условиям — заданным прочностью и консистенции.

Предварительно заметим, что в пределах тех составов, которые применяются при теплом бетоне, объемный вес его мало зависит от содержания вяжущего вещества, а зависит главным образом от соотношения между объемами и объемными весами мелкого и крупного заполнителей. Так, если пересчитать пример 1-й для состава 1:2:4, получим G , равное 2050 кг/м³; для состава 1:5:10 G равно 1950 кг/м³, т. е. разница весьма мала.

Это обстоятельство облегчает проектирование состава бетона заданной прочности. Представляется возможным, задавшись определенными материалами и соотношением между крупным и мелким заполнителями, определять необходимый расход вяжущего вещества, почти не считаясь с вопросом об объемном весе бетона. Ограничим пока задачу подбором составов теплого бетона заданной прочности для тех бетонов, которые изготавливаются на вяжущих веществах, следующих известной зависимости

$$R = f\left(\frac{W}{C}\right) \quad (4)$$

(прочность есть функция водоцементного фактора; $\frac{W}{C}$ — соотношение

между количествами воды и цемента по весу). Сюда принадлежат различного вида цементы, цементы с добавками и т. п. Типовая кривая такой зависимости для пластичного и литого бетонов приведена на стр. 39

Однако для теплого бетона нельзя непосредственно воспользоваться указанной зависимостью, так как в нем имеются пустоты и заполнитель малой прочности, уменьшающие прочность.

Возможно приблизительно определять прочность теплого бетона по следующей формуле:

$$R_{\text{т}} = \frac{R_{\text{н}}}{8\left(\frac{W+v}{C}\right)^{1,5}} \quad (5)$$

Эта формула аналогична зависимости, установленной для обычного бетона, и дает некоторый запас в сравнении с опытными данными.

Здесь W — объем воды в литрах в 1 м³ бетона, не впитавшейся в заполнитель,

v — объем пустот в литрах в 1 м³ бетона (считая и пустоты в самих заполнителях).

C — вес цемента в килограммах в 1 м³ бетона.

Этой формулой может учитываться и повышение прочности, достигаемое при трамбовании и прессовании теплого бетона вследствие уменьшения объема пустот в бетоне.

Получив кривые зависимости прочности от водоцементного и других факторов, нетрудно произвести подбор состава бетона заданной прочности и пластичности по способу, изложенному на стр. 84 — 85.

При обычных составах теплого бетона приходится применять следующие водоцементные факторы:

для жесткого бетона $\frac{W}{C} = 0,50-0,60$,

» пластичного » $\frac{W}{C} = 0,70-0,80$,

» литого » $\frac{W}{C}$ около 1.

2. Крупнопористый теплый бетон

Этот вид бетона рекомендуется для заполнения и стен с небольшой нагрузкой как имеющий большие экономические преимущества вследствие малой массы, малой теплопроводности и малого расхода материалов (см. в начале главы).

Объемный вес этого вида бетона при составе 1 : S может быть легко определен по формуле:

$$G_1 = \frac{1,80z + aS}{0,80(1+S)} \quad (6)$$

Пример. Для бетона состава 1 : 10 на цементе и кирпичном щебне z и a , равном 1300 кг/м^3 , и a , равном 800 кг/м^3 :

$$G_1 = \frac{1,80 \cdot 1300 + 800 \cdot 10}{0,80 \cdot 11} = 1100 \text{ кг/м}^3,$$

что соответствует данным опыта.

Расчет состава бетона данного вида вытекает из формулы (6), а именно:

$$S = \frac{1,80z - G_1 \cdot 0,80}{0,80 \cdot G_1 - a}.$$

Дать правила расчета или подбора состава бетона нового вида по заданной прочности в настоящее время еще не представляется возможным.

Можно рекомендовать ориентировочно применение следующих составов:

при зернах крупности	20—40 мм		1 : 15,
»	»	10—20 »	 1 : 10,
»	»	5—10 »	 1 : 8.

Эти составы с кирпичным или шлаковым щебнем на портланд-цементе (активности: $R_n = 220 \text{ кг/см}^2$) имели временное сопротивление через 28 дней $12-15 \text{ кг/см}^2$.

Для получения достаточного количества пустот в направлении толщины стенки необходимо размер зерен заполнителя брать не более $\frac{1}{4}$ толщины стенки.

Замечания, касающиеся обоих видов теплого бетона:

1. В обоих случаях необходима обязательная проверка прочности и объемного веса, полученных расчетом, путем изготовления контрольных кубиков.

2. Ориентировочное определение коэффициента теплопроводности по объемному весу рекомендуется производить по формуле проф. В. П. Некрасова:

$$\lambda = \sqrt{0,02 + 0,22 \cdot G^2} - 0,14 \quad (8)$$

(где G — выражено в кг/л).

3. Имея коэффициент теплопроводности, возможно произвести расчет необходимой толщины стены для данного климатического пояса согласно техническим условиям теплотехнического расчета ограждающих стен¹.

Применяется также более простой способ определения толщины стены по формуле проф. В. П. Некрасова, а именно толщина стены X в сантиметрах для пояса, где нормальной признается стена толщиной в $2\frac{1}{2}$ кирпича, равна:

$$X = \frac{G}{28} \text{ см.}$$

где G — объемный вес материала стены в кг/м^3 .

Для поясов с другой нормальной толщиной стен X пропорционально

*Зависимость времени сопротивления
тощих бетонов в возрасте 28 дней
от водоцементного отношения*

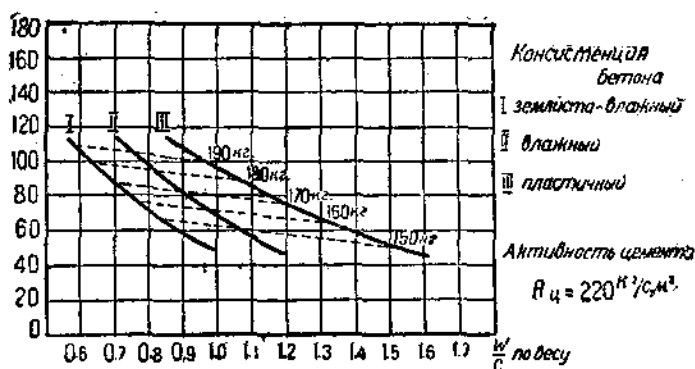


Рис. 59. График тощего бетона.

увеличивается или уменьшается. При штукатурке с двух сторон формула принимает вид:

$$X = \frac{G}{81} \text{ см.}$$

Кроме вышеизложенной теории приводится также график проф. Беляева (рис. 59)² для определения прочности тощих бетонов. Так как все теплые бетоны изготовляются с малым расходом вяжущих материалов, т. е. являются тощими, то для них может быть использован график проф. Беляева. График показывает, что прочность такого бетона зависит от расхода цемента на 1 м^3 бетона и от консистенции бетона. На графике нанесены 3 кривых, соответствующих разным консистенциям бетона; выше всех — кривая пластичного бетона, ниже — влажного и землисто-влажного. Пунктирные прямые наклонные линии соответствуют различным расходам цемента на 1 м^3 бетона.

Из графика вытекает, что при данном составе бетона (при данном расходе на 1 м^3) прочность с уменьшением количества воды увеличи-

¹ Изданы в 1930 г. КомСТО.

² Из статьи проф. Беляева в книге «Строительные материалы», изд. ленинградским ОНТС, 1931.

растая в малой степени, почему имеется полное основание применять тощие и теплые бетоны пластичной консистенции.

Ввиду того, что измерение консистенции бетона конусом Абрамса (см. «Бетон», стр. 43) не дает удовлетворительных результатов при тощих составах, следует для оценки пластичности применять приборы, основанные на принципе наклонной плоскости (столик Скрамтаева, наклонный желоб).

Таблица 52

Некоторые данные для выбора составов теплого бетона из разных материалов

Материалы	Портланд-цемент	Песок	Гравия (мм)	Доломитовый шлак не молотый	Доломитовый шлак средней помола	Доломитовый шлак, размоленный как цемент	Котельный шлак	Кирпич	Пемза	Несколько обожженных	Опилы	Прочность через 28 дн. кг/см ²	Объемный вес кг/м ³
Дозировка составных частей по объему	1	1	—	—	—	—	12	—	—	—	—	15—30	1850
	1	1	—	—	—	—	16	—	—	—	—	12—25	1300
	1	—	—	—	—	—	7	—	—	—	—	25—45	1500
	1	—	—	—	—	—	9	—	—	—	—	15—25	1850
	—	1	1 1/2	—	—	—	6	—	—	—	—	15—25	1800
	—	1	2	—	—	—	10	—	—	—	—		
	—	—	—	—	—	—	—	8	крупнопористый		—	20	1800
	—	—	—	—	—	—	—	12	—	—	—	10	1250
	—	—	—	—	—	—	12	—	—	—	—	10	1100
	—	—	—	—	—	—	—	10	—	—	—	8	800
	—	—	—	—	4	—	—	—	—	—	—	80	1300
	—	—	—	—	—	10	—	—	—	—	—	130	1500
	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	6	1500
	—	—	—	—	1	—	—	—	—	—	—	20	1500
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	50	1500
	—	1	2	—	—	1	—	—	—	6	—	30	2000
	—	1	2 1/2	—	—	—	—	—	—	4	—	40	1900
	—	1	4	—	—	—	—	—	—	6	—	40	1800
	—	1	4 1/2	—	—	—	—	—	—	4	—	50	2000
	—	1	1	—	—	—	—	—	—	3	—	70	2000
	—	—	2	—	—	—	6	—	—	—	—	35	1400
	—	—	3	—	—	—	5	—	—	—	—	30	1400
	—	—	3	—	—	—	12	—	—	—	—	20	1500
	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	8	35	1600

Примечание. Ввиду разнообразия качества материалов данные имеют ориентировочный характер.

Особенности производства теплого бетона следующие.

1. Время перемешивания в бетономешалке, ввиду тощих составов, следовательно необходимости тщательно распределить имеющееся небольшое количество вяжущего материала, принимается большим, чем для обычного бетона (не менее 1 1/2 мин.).

2. Необходимо выдерживание теплого бетона после изготовления в теплой и влажной среде для твердения в течение срока не менее 1 мес. при цементном бетоне и не менее 2 мес. при известковых и шлаковых бетонах.

3. Для ускорения производства теплого бетона применяется новый метод обработки — пропаривание в камерах при обычном давлении и

температуре около 80—90° С. При повышенных температурах и влажности реакция твердения идет быстрее, и после пропаривания в течение 16—24 час. прочность бетона получается равной 28-дневной в обычных условиях.

4. Теплый бетон применяется в строительстве в 3 видах:

а) Набивной бетон (пластичный и литой) для стен, которым заполняется опалубка, для ускорения темпов строительства и уменьшения расхода лесных материалов применяется разборная переносная или подвижная опалубка.

б) Камни сплошные или пустотелые разных форм (например типа «Крестьянин», «Ауфбау» и др.) весом до 30 кг, позволяющие укладывать их вручную; камни изготавливаются на ручных деревянных или металлических станках (например на станке системы Тернавского, в котором производится набивка формы бетоном, когда она приподнята на подставках, а затем поворотом подставок форма опускается, и камень освобождается), на ножных станках (например типа «Крестьянин») и наконец на различных механических станках (например системы «Ауфбау»). Производительность станков колеблется от 100 шт. (при ручной работе) до 1000 шт. и более (при механических станках) в смену.

в) Блоки весом от 1 до 3 т (в дальнейшем возможно еще большее увеличение веса с развитием механизации), набиваемые в вертикальном положении в формах (малые блоки) или в горизонтальном положении (большие блоки) с весьма малым расходом дерева на формы; из блоков производится сборка стен при помощи кранов (тип индустриального строительства).

ГЛАВА V

СПЕЦИАЛЬНЫЕ БЕТОНЫ

1. Аэрокретовый (газовый) бетон — одна из разновидностей газобетона, изготовляемая из цемента с примесью порошка алюминия (главным образом), магния и цинка.

В Германии изготовляется фирмой «Aerokret-Fabrik der Torkret G. m. b. H., Berlin».

Объемный вес 0,6—0,8 т/м³. Вследствие структуры из замкнутых ячеек обладает малыми коэффициентами теплопроводности (около 0,20) и звукопроводности.

Временное сопротивление сжатию в возрасте 28 дней от 30 до 50 кг/см².

Помимо обычной тепловой изоляции может служить противопожарной обшивкой.

Обладает постоянством объема и стойкостью против действия атмосферных влияний. Дождь проникает в нештукатуренный аэрокрет только в наружную часть.

Легко поддается обработке — распилке, свободно вбиваются гвозди.

Аэрокрет применяется в виде плит для изоляции стен и перекрытий. В Германии размер плит: 60 × 16,5 см (или 33 см) при толщине 6, 7, 14 или 16 см. Плиты устанавливаются 1 чел. По периметру плит имеются пазы, заливаемые при укладке аэрокретовым раствором. Раствор, расширяясь при схватывании, обеспечивает монолитность соединения плит. Штукатурка не требуется, вследствие чего здание получается сухим.

2. Асбестовый бетон состоит из смеси цемента с асбестом (обычная пропорция 1 часть асбеста на 3 части цемента по весу), спрессованной в виде плит под давлением до 1000 ат. Количество воды в сырой смеси около 40%, после прессования — 10%. Огнестойкий кровельный материал, применяемый в виде плоских или волнистых плит (этернит, асбошифер).

3. Асфальтовый бетон изготовляется из смеси высушенного нагретого щебня, выскок и асфальтового раствора в передвижных установках и применяется в дорожном строительстве. Укладывается в горячем виде. Более подробно см. в литературе о дорожном строительстве.

4. Вибрационный (вибрированный) бетон — пластичный бетон, который в целях лучшего заполнения тонких конструкций с густой арматурой, а также для придания бетону большей прочности и плотности подвергается сотрясениям (вибрациям).

Вибрации достигаются 3 способами:

1) постукиванием по опалубке ручным или лучше пневматическим молотком,

2) введением внутрь бетона при укладке особого аппарата — первибратора (пневматического, электрического или электромагнитного),

3) помещением формы, наполненной бетоном, на встряхивающуюся плас-

шлаку. Прочность бетона повышается (от 10 до 50%), в особенности в тощих составах.

5. Возбужденный бетон — неудачный термин, принятый в Германии, указывающий, что некоторые материалы, не обладающие вяжущими свойствами, после тонкого измельчения их в мокром виде на бегунах способны затвердевать. Сюда относятся доменный шлак, зола, сланец, наконец даже старый бетон.

Наибольшее распространение получило применение в дорожном строительстве размолотого доменного шлака, даже взятого из отвалов, с добавлением до 50% свежего гранулированного шлака или 3—8% извести, или 1—2% цемента (для ускорения твердения), или порошка распавшегося основного доменного шлака.

6. Газовый бетон — общее название всех бетонов с мелкопористой структурой.

Газобетон, основанный на применении алюминиевой и цинковой пыли, изобретен арх. Эриксоном в 1920 г. (Стокгольм). Изготавливается из цемента 1 части и гашеной извести $1\frac{1}{2}$ части по весу с добавлением вышеуказанного порошка. При замешивании с водой выделяется водород, вызывающий образование мелких пустот. Физические свойства газобетона аналогичны аэрокремнебетону (см. п. 1).

В отличие от вышеуказанного газобетона ячеистый бетон (Zellen-Beton) (по датскому патенту) изготавливается путем добавления к цементному раствору заранее изготовленной пены. Обладает более мелкими и замкнутыми порами, чем газобетон.

Применение для изоляции и заполнений каркасных зданий.

7. Деревобетон — бетон из цемента и древесных стружек. Стружки подвергаются предварительной обработке жидким стеклом или известковым молоком. Применяется для изоляции в виде плит, обладает малым весом и малой теплопроводностью. Имеет тот недостаток, что при перемене влажности древесные стружки, расширяясь и сжимаясь, отделяются от бетона. Может применяться в тех случаях, когда такой бетон защищен от влаги.

8. Кислотоупорный бетон. Попытки получить кислотоупорный бетон на портланд-цементе (в том числе и с добавками) не имели успеха. Для кислотоупорного бетона необходимо применение вяжущих материалов, не растворимых в кислотах.

Такие бетоны, основанные не на портланд-цементе, предложены:

в Германии — продорит,
в СССР — бетон на жидком стекле.

Бетон на жидком стекле применяется впервые в СССР для резервуаров, башен и камер для кислот в строительстве химической промышленности.

Предложен в 1931 г. инж. Ханниным (трест «Кислотоупор») и Институтом сооружений, проф. Молейт и инж. Москвин). Заменяет свинец и андезитовую каменную кладку, давая сокращение импорта и удешевление резервуаров до 3 раз.

В данном бетоне в качестве вяжущего применяется растворимое стекло $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2 + m \cdot \text{H}_2\text{O}$

с модулем $M = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$ около 2,85 при концентрации 35—38° Вё.

Заполнителем являлся андезит (горная порода, разрабатываемая на Кавказе и имеющая в основе состава кремнезем).

В настоящее время наметился переход на более дешевые местные заполнители (бештаунит, кварцит, шамот, клинкер и др.). Заполнитель применяется в 3 фракциях: пыль, песок и щебень, подобранные по кривой Боломея; обычный состав из 3 фракций 1:1:2.

В качестве обязательной добавки (ускоритель твердения) применяется хромефтористый натрий Na_2SiF_6 в количестве 8—15% от веса стекла. Самого стекла берется около 17% от веса заполнителей.

Бетон готовится мало пластичный и требует трамбования. Прочность бетона быстро растет до 4 дней, достигая на сжатие 150 кг/см^2 , затем падает и снова поднимается к 28 дням. Прочность на разрыв 25—30 кг/см^2 , т. е. гораздо больше, чем у обычного бетона.

Наилучшее хранение — воздушное; при этом усадка не больше, чем у обычного бетона.

Модуль упругости $E = 70\,000 \text{ кг/см}^2$ при напряжении сжатия 20 кг/см^2
 $E = 50\,000 \quad > \quad > \quad > \quad > \quad 30 \quad > \quad >$

При хранении такого бетона в кислотах серной, азотной, нитрозе и других сильных концентрациях прочность получается больше, чем при воздушном хранении. Слабые кислоты и особенно вода понижают прочность.

Для придания непроницаемости требуется очень плотная укладка бетона.

9. Кристаллит-бетон — весьма твердый бетон, получающийся путем введения в состав бетона карбида кремния (1 часть цемента и 2 части карбида). Применяется в конструкциях, подверженных сильному истиранию.

10. Легкий бетон — общее название, соответствующее малому объемному весу, применяемое к различным видам бетонов: теплый бетон, газобетон, пензобетон, шлакобетон и т. п.

11. Ледяной бетон — бетон, при изготовлении которого примешиваются кусочки льда, образующие при таянии пустоты. Способ применяется для облегчения веса бетона.

12. Мелкопористый бетон (тощий бетон) — бетон с малым содержанием цемента. Расширение производства цементов повышенного качества может повести к стремлению уменьшить содержание цемента в бетоне, так как при высоком качестве цемента прочность все же будет обеспечена.

Однако во избежание ржавления арматуры, ослабления ее и разрушения самого бетона в железобетоне устанавливаются нормами минимальный расход цемента на 1 м^3 готового бетона. Так, в Германии нормами 1931 г. установлен минимум 250 кг цемента для сооружений, защищенных от действия атмосферных влияний, и 270 кг для остальных. Нормами СССР 1931 г. установлено соответственно 220 кг и 250 кг. Однако и в неармированных железом бетонах, подверженных действию вредных для бетона солей и кислот, расход цемента не должен быть ниже вышеуказанных цифр, так как на тощие бетоны эти вещества оказывают особенно сильное разрушающее действие.

13. Немзобетон — см. теплые бетоны.

14. Пензобетон — см. ячеистый бетон.

15. Порозитовый бетон — бетон, состоящий из цемента, извести и остроугольного песка в соотношении 1 часть портланд-цемента, 1 часть гашеной извести и 14—16 частей песка.

По объемному весу немного тяжелее обычного шлакобетона, почему

может применяться в качестве стенового материала; объемный вес 1600—1700 кг/см³, временное сопротивление 30—40 кг/см².

Способ изготовления состоит в следующем: готовится отдельно раствор из извести с песком 1:6 или (1:8) в растворешалке; параллельно готовится раствор из цемента с песком 1:8 в бетономешалке. Оба раствора перемешиваются в равных количествах. Консистенция бетона — сильно пластичная.

Бетон — легкий и легко обрабатываемый. В Германии патент Циммермана (Штеттин).

16. Продорит-бетон — изготавливается на патентованном битуминозном вяжущем веществе в горячем состоянии. Обладает прочностью обычного бетона хорошего качества, но отличается от него кислотоупорностью. Свойство кислотоупорности имеется в отношении соляной и фосфорной кислот любой концентрации и температуры, серной кислоты холодной 80%-ной, горячей 70%-ной, азотной кислоты холодной 45%-ной. Также является стойким против аммиачных растворов и разбавленных щелочей. Неустойчив против органических кислот, бензина, бензола и т. п.

Применяется для канализационных труб, кислотоупорных полов и облицовок.

В Германии — патент акционерного о-ва «Продорит» в Мангейме.

17. Солидлит-бетон — изготавливается на особом солидлитовом цементе (патент в Германии фирмы «Deutsche Soliditit-Zentrale», Кельн). Солидлит-цемент изготавливается из портланд-цемента с добавлением диоритовой или гранитовой муки, предварительно нагретой до 1000°C.

Химический состав цемента:

SiO₂ — 56%; CaO — 33%; MgO — 1,5%;

Al₂O₃ — 5,5%; Fe₂O₃ — 1,8%.

Бетон на этом цементе обладает высокой прочностью и вязкостью.

18. Сталебетон — разновидность твердого бетона, оказывающая высокое сопротивление износу, применяется для полов и бункеров. В качестве крупного заполнителя добавляется «зернистое железо» — смесь мелких и крупных опилок. Германский патент проф. Клейнгогеля.

При испытании на истирание на круге Баушингера дал следующие результаты в сравнении с гранитом:

истираемость материала в см³/см² при пути истирания 628 м;

сталебетон — 0,12—0,06;

гранит — 0,13.

Временное сопротивление сжатию до 2000 кг/см².

Таблица 53

Состав образцов				Объемный вес кг/л	Время, сопротивл. сжатию кг/см ²	Высота слоя в см, стертого с образца при 1000 м пути круга истирания
цемент г	песок норм. г	сталь. стружка г	вода %/о			
1	8	—	8 1/2	2,35	220	0,75
1	0,80	1	12	2,80	450	0,85
1	0,80	1,5	10	3,50	900	0,20
Гранит	(для сравн.)	—	—	2,65	1400	0,80

Небольшая добавка к обычному бетону металлических стружек (до 100 кг на 1 м³ бетона) значительно повышает сопротивление бетона

на истирание, но мало повышает прочность на раздавливание. Наоборот ижеприводимые опыты (таблица 55) показывают, что жирные составы с большим содержанием металлической стружки обладают как малой истираемостью, так и высокой прочностью на раздавливание (53):

19. **Твердый бетон** — бетон, оказывающий высокое сопротивление износу. Имеет три разновидности: 1) обычный бетон, но с хорошо подобранным гранулометрическим составом инертных материалов, 2) сталебетон (см. выше) и 3) бетон с инертным заполнителем высокой прочности, например с корундом.

Сопротивляемость износу увеличивается с повышением прочности бетона, с применением влажного способа хранения, большим сроком выдержки. Износ сухого бетона больше, чем сырого. Применяется для тротуаров, полов, стенок силосов, лотков и т. п.

20. **Торкрет-бетон (набрызгиваемый бетон)** — бетон, набрызгиваемый на стены или другие конструкции пневматическим способом по рукаву на особой машины — цемент-пушки. Цемент-пушкой подается сухая смесь цемента и песка в пропорции 1:1 до 1:3; вода добавляется перед самым выпуском смеси из шланга, причем вода подается под большим давлением, чем остальная смесь, для лучшего проникновения воды в смесь.

Прочность торкрет-бетона обычно на сжатие около 300 кг/см^2 , на разрыв $40\text{—}50 \text{ кг/см}^2$; отличается большой плотностью.

21. **Транспорт-бетон.** Бетонная масса отгружается с завода в готовом виде или отпускается сухая смесь, а прибавление воды делается в пути незадолго до прибытия (за 5 мин.) на постройку. Расстояние перевозки доходит до 30 км. Бетон в пути предохраняется от охлаждения или излишнего нагревания. По опытам прочность транспорт-бетона выше обычного на 15—30%. Средством против расслаивания бетона в пути является добавление 10—15% трепела.

22. **Ячеистый бетон (см. также пенобетон)** изготавливается из цемента и песка на особой пене. Структура мелкопористая с замкнутыми ячейками. Особые свойства: малый объемный вес, малая теплопроводность, огнестойкость, звукопоглощаемость, морозоустойчивость. Изготавливается с объемным весом от 0,30 до 1,2 кг/л . При объемном весе меньше 0,40 кг/л требует покрытия штукатуркой.

Коэффициент теплопроводности при объемном весе 0,30 кг/л составляет 0,05; при объемном весе 0,80 кг/л — 0,17.

Прочность повышается с увеличением объемного веса и составляет от 10 до 60 кг/см^2 .

Ячеистый бетон с объемным весом от 0,8 до 1,2 кг/л может быть армирован.

Применяется как стеновой материал при объемном весе 0,6—1,4; для изоляции трубопроводов и металлических конструкций — при объемном весе менее 0,7; для заглушения звука — с объемным весом 0,3—0,6.

При нагревании до 500°C не поддается изменению, при 800°C теряет небольшую часть прочности, при температуре выше 1100°C разрушается.

По данным датской фирмы Христиани и Нильсен в Копенгагене:

1. Перемешивание цементного раствора с пеной продолжается 30 сек.
2. Бетон можно делать в общей форме и через 1—2 дня разрезать проволокой на плиты.

3. Для изоляции труб выпиливаются цилиндры. Изоляционные плиты оклеиваются холстом, плиты для крыш — руберойдом.

4. Допускается пропаривание под давлением более плотного и без давления — легкого бетона.

5. Расход материалов на 1 м³ бетона (см. таблицу 54).

Таблица 54

Об. вес	Состав	Цемент кг	Песок кг	Вода кг	Пена + клей кг
0,30	1:0	223	0	166	0,255
0,40	1:0	296	0	192	0,245
0,50	1:1/2	270	142	185	0,236
0,60	1:1	255	266	175	0,230
0,70	1:1	297	310	191	0,220
0,80	1:1	340	354	208	0,210
0,80	1:2 1/2	208	540	166	0,210
1,00	1:2	298	620	192	0,193
1,00	1:2	328	684	192	0,185
1,00	1:3	252	788	200	0,185
1,20	1:4	224	933	208	0,175

В СССР пенобетон начали изготовлять в Ленинграде Ленинградстрой и 4-й Строительный трест. Получается путем смешивания цементного раствора с эмульсией (в состав которой может входить одно из следующих веществ: столярный клей, желатин, казеин, канифоль, альгинат из морских водорослей). Пенобетон имеет меньшую прочность, чем газобетон; $\gamma = 7-15$ кг/см³. Объемный вес — от 0,40 (для заполнений) до 1,10 (для несущих конструкций). Ячейки — не крупнее 3 мм. Коэффициент теплопроводности — 0,10—0,15. Стоимость 1 м³ — 30 руб. Размер плит 1 × 0,5 × 0,08 м.

Применяется теперь главным образом для изоляций перекрытий.

Расход материалов на 1 м³ бетона по одному из ленинградских рецептов:

* цемента	300 кг,
столярного клея	1 кг,
канифоли	1/2 кг,
едкого кали	0,025 кг.

23. Шума-бетон — одна из разновидностей газобетона, в которой расширение бетонного теста производит препарат кальция, добавляемый к сухому цементу в соотношении 1:1000. Немецкий патент — проф. Мейера, Бреславль.

24. Центробежный бетон — бетон в трубах, колоннах и мачтах, изготовленных центробежным способом. Для осуществления этого способа металлическая форма приводится в быстрое вращение на специальном станке вместе с уложенной в нее арматурой.

Одновременно в форму забрасывается бетон, который под влиянием центробежной силы отбрасывается к стенкам формы и уплотняется. Излишняя вода выделяется из бетона и стекает.

25. Бетон с кирпичным щебнем. При изучении вопроса о снижении стоимости железобетонного строительства останавливает на себе внимание щебень, который для многих построек, будучи материалом привозным, обходится весьма дорого (например до 22 руб. за 1 м³, что соста-

влет до 20% общей стоимости железобетонных сооружений). Речь идет о применяемом обычно щебне гранитном или из других твердых пород.

Естественно поэтому возникло несколько запросов со стороны строительных организаций к Институту сооружений о допустимости применения для железобетона кирпичного щебня и о данных для расчетов в случае положительного решения. Кирпичный щебень, получаемый как лом с кирпичных заводов или от разборки старых зданий, может обходиться до двух и более раз дешевле чем гранитный и другой твердый щебень.

Как известно, отдельные случаи применения кирпичного щебня для железобетонных гражданских сооружений имелись. Однако в технических условиях на железобетон вопрос о нем прямо не затронут. В нормах имеется даже указание, которое косвенно делает невозможным применение кирпичного щебня, а именно требование для щебня иметь временное сопротивление раздроблению не менее 250 кг/см^2 . В сообщении № I Всесоюзного института сооружений бетон с кирпичным щебнем рассматривается только как «крайний член теплых бетонов».

В действительности нет каких-либо особых технических препятствий к применению кирпичного щебня для железобетона в тех случаях, когда не требуется особой сопротивляемости изнашиванию или атмосферным влияниям.

Но можно смотреть на этот вопрос несколько шире. Обычно в бетоне соединяют два материала совершенно различной прочности; 1) цементный раствор, от которого при употребительном теперь пластичном бетоне требуется временное сопротивление всего $80-130 \text{ кг/см}^2$, и 2) щебень твердых каменных пород прочностью до 2000 кг/см^2 . В результате такого соединения бетон естественно разрушается по раствору, и высокая прочность щебня не оказывает влияния. Поэтому быть может гораздо логичнее применять для бетона именно кирпичный щебень с прочностью не ниже нормальной ($80-100 \text{ кг/см}^2$). В таком случае в бетоне получается соединение материалов приблизительно одинаковой прочности (к 28 дням). Что касается дальнейшего возрастания прочности бетона с кирпичным щебнем, то оно имеет место, как и при обычном бетоне, что показали опыты проф. Е. В. Костырко¹.

С целью получения данных о прочности различных составов, бетона с кирпичным щебнем были поставлены опыты в специальном отделении лаборатории украинского Института сооружений при постройке дома «Красной промышленности» Укрпайстроя в Харькове². На этой постройке широко применялся кирпичный щебень как для бетонных фундаментов, так и для колонн и перекрытий.

Всего было изготовлено 200 бетонных кубиков размером $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$. Материалы применялись следующие:

- а) цемент амвросиевский с $R_d = 220 \text{ кг/см}^2$;
- б) песок с модулем крупности $M = 1,70$ и объемом пустот 40%, т. е. приближающийся к натуральному;
- в) щебень из кирпичного лома харьковских заводов; временное сопротивление кирпича $65-90 \text{ кг/см}^2$.

¹ См. сообщение № 1 Всесоюзного института сооружений, 1929.

² Опыты вел инж. М. Я. Либерман

За исключением цемента материалы применялись довольно плохого качества. Щебень предварительно смачивался.

Консистенция определялась конусом Абрамса. Ниже приводятся средние результаты испытания прочности для 28-дневных кубиков (табл. 55).

Таблица позволяет сделать неко-

Таблица 55 торые выводы:

Состав по объему	Осадка конуса в см	Временное со- противление в кг/см ²
1:2:4	2,5	146
1:2:4	13	114
1:2,5:5	1,5	123
1:2,5:5	13,5	85
1:3:6	1,5	91
1:3:6	13,5	87
1:4:8	1,5	69
1:4:8	8	62
1:4:8	14	68
1:4:9	8	62
1:5:9	7	50
1:5:10	1,5	60
1:5:10	8	50
1:5:10	13	50

1. Бетон с кирпичным щебнем может давать прочность выше прочности кирпича. Это явление можно объяснить тем, что сам скелет из раствора обладает в известных случаях довольно большой прочностью (пример — газобетон).

2. Для железобетонных конструкций вполне пригодны составы 1:2:4 и 1:2¹/₄:5 в зависимости от требуемой прочности, при обязательном контроле за дозировкой воды.

3. Для бетонных фундаментов пригодны составы 1:3:6 до 1:5:10. Заметим, что так как при тощих пластичных составах водоцементный

фактор получается большой (больше 1), то в полном соответствии с видом графиков 11—13 получается, что прочность бетона мало зависит от количества воды и консистенции. Следовательно здесь контроль при помощи конуса необязателен.

Вес 1 м³ бетона с кирпичным щебнем на основании опытов можно принять 1900 кг. Уменьшение собственного веса в сравнении с обычным бетоном даст дополнительную экономию при расчете конструкций.

Опыты инж. И. И. Фалькова (Москва, Целбет) показали, что при бетоне с временными сопротивлением не более $\sigma_{вв} = 110 \text{ кг/см}^2$ применение щебня кирпичного или гравия при одинаковых составах бетона дает одинаковую прочность; следовательно в обычном железобетоне кирпичный щебень может применяться наравне с гравием.

Впервые при постройке крупного железобетонного сооружения кирпичный щебень нашел себе применение на строительстве гостиницы в Охотном ряду в Москве, 1932 г.

26. Бетон для гидротехнического строительства. Наибольшее применение для строительства плотин получили портланд-цемент, портланд-цемент с гидравлическими добавками и пуццолановый цемент заводского изготовления. Последние два цемента имеют несомненные преимущества перед портланд-цементом по своей устойчивости. Применение в плотинах бетона на сложном вяжущем веществе — цемент, известь, гидравлическая добавка — только начинается и не является вполне изученным.

В практике строительства плотин в Закавказье уже применялись бетоны на сложном вяжущем веществе, в котором цемента содержится всего 30—60 кг, остальное — известь и пемзовая пыль, морозостойчивые в условиях мягкого климата.

Для бетона, укладываемого в плотины, основанного на цементе, выработаны следующие требования:

1) содержание цемента в 1 м³ бетона должно быть не менее 265—285 кг на условия морозостойкости;

2) водоцементное отношение не более 0,60—0,70 для стойкости против выветривания;

3) хороший гранулометрический состав инертных материалов; кривая просеивания должна быть немного выше кривой Фуллера;

4) бетон не должен показывать водонепроницаемости в 28-дневном возрасте при испытании образца высотой 15 см в течение суток под давлением 5 ат на приборе Бурхарца;

5) временное сопротивление сжатию бетона для массивных плотин может быть не более 100 кг/см²; однако выполнение перечисленных выше требований автоматически приводит к получению большей прочности (на Днепрострое 180—300 кг/см²).

Большие расходы цемента, необходимые для получения плотного и морозостойкого бетона, приводят зачастую к превышению прочности, необходимой по расчету в случае применения цементов 00 и 000.

Новейшие опыты лаборатории Днепростроя (инж. В. В. Олешевич) показали, что в целях уменьшения расхода цемента указанных двух марок возможна замена большей части цемента размолотыми трассом или трепелом, а именно:

для массивных гидротехнических сооружений — замена 40%, цемента трассом или 30%, трепелом;

для промсооружений марки бетона 110 кг/см² — замена 50%, цемента трассом или 40%, трепелом.

Добавки могут дозироваться в бетономешалку. Бетон дает больший выход, чем обычный.

27. Бетон для дорожных одежд. По американским нормам к бетону для дорожных одежд предъявляется требование иметь временное сопротивление на изгиб 25—40 кг/см². Соотношение между временным сопротивлением сжатию и изгибу принималось 5—6.

Однако по опытам лаборатории ЛИИПС для наших цементов это соотношение равно 9—10.

Сопротивление изгибу и ударам связано с сопротивлением сжатию, а следовательно с величиной водоцементного отношения (по опытам инж. Александрина, ЛИИПС, см. рис. 15 и 16).

Следовательно достаточно установить одно требование — временное сопротивление сжатию.

Для стойкости против выветривания водоцементное отношение должно быть не более 0,60.

Осадка конуса Абрамса должна быть не более 3 см для правильной работы бетоноотделочной машины.

УПРОЩЕННЫЕ ПРАВИЛА ДЛЯ ВЫБОРА СОСТАВОВ РАЗЛИЧНЫХ БЕТОНОВ

Утверждены постановлением коллегии НКТП № 404 от 20/V 1932 г.

§ 1. Задаaniem для выбора состава бетона являются:

- 1) прочность бетона по проекту,
- 2) срок использования сооружения под полную нагрузку,
- 3) срок распалубки и использования под половинную нагрузку (в этот момент достаточно иметь 75% проектной прочности бетона),
- 4) пластичность бетона, определяемая для обычного бетона конусом или наклонным столиком, а для теплого бетона наклонным столиком или тем признаком, что свежизготовленный теплобетонный камень при снятии с него формы должен давать выпучивание боков на 2—3 мм,
- 5) расход вяжущего материала на 1 м³ бетона, пределы которого установлены приказом НКТП.

§ 2. Прочность обычного бетона и железобетона в проектах принимается 110 кг/см², других бетонов от 15 до 90 кг/см². Применение бетонов, более высоких марок (150 кг/см² и выше) или бетонов ранней прочности (до 10 дней для зимнего бетонирования) должно быть особо мотивировано и требует применения повышенного цемента или большого расхода цемента (но не более 320 кг/м³). Обычно между моментами распалубки с частичной загрузкой и полной загрузки сооружения имеется достаточный срок (не менее 20—30 дней), в течение которого бетон при надлежащем уходе за ним повысит свою прочность на 20—25%. Поэтому обычно возможно проектирование составов бетона на 75% проектной прочности, т. е. на 80 кг/см².

В случаях, когда требуются снятие подмостей и частичная загрузка сооружения ранее 20 дней, необходимо применение повышенного цемента или ускорителя твердения хлористого кальция в количестве 2—3% от веса цемента.

§ 3. Проектирование составов обычного бетона на портланд-цементе ведется или по способу, изложенному в § 212 Т. У. и Н.: на железобетонные сооружения 1931 г. с выбором тех составов, которые дадут расход цемента по заданию в 250 кг/м³ бетона, или следующим простым способом. Берется состав бетона:

- при расходе цемента в 250 кг/м³:
- для бетона на щебне — 1:7 1/2;
- для бетона на гравии 1:7;
- при расходе цемента — 220 кг/м³:
- для бетона на щебне — 1:8 1/2;
- для бетона на гравии 1:8.

Соотношение между песком и щебнем (или гравием) берется наимыгоднейшее, определяемое опытом, а именно, дающее наименьший водоцементный фактор.

Прочность изготовленного состава бетона проверяется на опыте в возрасте 7 дней и должна быть не ниже 50 кг/см². В случае получения более низкой прочности должны быть применены инертные материалы лучшего качества или цемент повышенный.

§ 4. При проектировании составов бетона на сложном вяжущем веществе (цемент, известь, гидравлическая добавка) необходимо, выбрав общий расход вяжущего материала вместе с добавкой в пределах 250—300 кг на 1 м³ бетона, задаться соотношением между цементом, известью и добавкой, исходя из следующих соображений: при бетоне с прочностью ниже 40 кг/см² цемент не применяется вовсе; соотношение между известью и добавкой берется 1:1; 1:1 1/2; 1:2 1/2, по весу; при бетоне с прочностью от 40 до 90 кг/см² расход цемента берется соответственно от 40 до 90 кг на 1 м³ бетона, а остальная часть вяжущего материала берется в виде извести и добавки с соотношениями 1:1; 1:1 1/2; 1:2, определяемыми на опыте.

Соотношение между мелким и крупным заполнителями берется наимыгоднейшее, определяемое опытом, как указано в § 3.

Проверка составов на опыте ведется следующим образом. Берется состав бетона:

при расходе вяжущего материала 250 кг/м^3 :

для бетона на щебне — $1:7\frac{1}{2}$;

для бетона на гравии — $1:7$;

при расходе вяжущего материала 300 кг/м^3 :

для бетона на щебне — $1:6$;

для бетона на гравии — $1:5\frac{1}{2}$;

определяется для выбранного состава наимыгоднейшее соотношение между мелким и крупным заполнителями, после чего изготавливаются образцы бетона с тремя различными (вышеуказанными) составами вяжущих материалов и добавок и испытываются обычным способом или нижеследующим упрощенным способом.

Образцы изготавливаются размером $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$, хранятся первые 3 суток во влажном воздухе, после чего подвергаются пропариванию при нормальном давлении и температуре $70-80^\circ \text{C}$ в баке над кипящей водой в течение следующего срока.

Если проектная прочность бетона долж- на быть полностью использована через	{	1 мес. — пропаривание 8 час.
		2 > — 12 час.
		3 > — 16 час.

Из приготовленных 3 составов бетона окончательно принимается тот, который при испытании на сжатие после пропаривания даст проектную прочность. В случае, если все составы дадут прочность бетона ниже заданной, необходимо перейти на составы с большим расходом цемента.

записей полевой лаборатории по бетону на постройке

[illegible]

Приложение 2

..... за сезон 193... г.

[illegible]

Приложение 3

ГЛАВНЕЙШАЯ ЛИТЕРАТУРА ПО БЕТОНУ

Общие вопросы по бетону

1. Проф. Беляев, Метод подбора состава бетона, изд. 4-е, 1930, вып. I Института бетонов.
2. Проф. Житкевич, Бетоны и бетонные работы.
3. Эмпергер, Энциклопедия железобетонного строительства, т. III.
4. Скрамтаев, Бетон, изд. 2, 1931, вып. IV Института бетонов.
5. «Труды Закавказского института сооружений», «Бетон», вып. I, II.
6. Проф. Философов, Строительные материалы, 1931.
7. Станкеев, Растворы и бетоны, 1932 г., изд. НКПС.

Подбор составов и контроль бетона

8. Александрин, Строительный контроль качества бетона, изд. 3-е, 1931.
9. «Инструкция по проектированию состава бетона и контролю на производстве» (в «Нормах на железобетонные сооружения», 1931 г.).
10. «Проектирование и состав бетона», 1929, «Библиотека по американскому и европейскому строительству», вып. III.
11. Мак-Милан, Катехизис по бетону.
12. Захигер, Железобетон (в приложении — статьи проф. Каменцева).
13. Клейногель, Строительный контроль качества бетона.
14. Спецлер и Меле, Контроль над возведением сооружений из литого бетона.
15. Гукасян и Дондо, Практика подбора составов бетона.
16. Френкель, Технология пластичного бетона, 1932 г.
17. Инструкция «Как должен прораб назначать и проверять составы бетона», 1931, сост. Скрамтаевым.
18. Штаерман и Яшвили. Физико-аналитический метод проектирования составов бетона, 1932 г.

Теплый бетон

19. Проф. Алексеев, Постройки из бетонных камней, 1929.
20. Костырко, Технические указания по производству теплобетонных камней, «Сообщение № 1 Института сооружений», 1929.
21. Михайлов, Теплый бетон, 1928.
22. Некрасов, Новые материалы и конструкции, 1930.
23. «Новые строительные материалы», вып. 3/94, НКПС.
24. Попов, «Теплый бетон» и его применение в строительстве Русгерстроа, 1930.
25. «Расценки на работы из теплого бетона», изд. Строительного комитета Мос-облсполкома, 1930.
26. Костырко, Текущие работы по новым строительным материалам, «Сообщение № 12 Института сооружений», 1930.
27. Вутке, Шлакобетонные наружные стены, «Сообщение № 13 Института сооружений», 1930.
28. Александрин и Скрамтаев, Теплый бетон, 1931.
29. «Инструкция Украинского института сооружений по изготовлению шлакобетонных камней», 1931.
30. «Типовые конструкции стен из пустотелых бетонитовых камней», изд. Инворт, сер. 103, 1931.
31. Проф. Михайлов и Попов, Теплый бетон, в двух томах, 1931.
32. Информационные сборники треста «Теплобетон» (15-й трест).
33. Выпуски Уральского и Ленинградского институтов сооружений.

Специальные бетоны

34. Га й з, Литье бетон и его применение в строительстве.
35. Спидлард, Торкрет.
36. Саталкин, Прессованный бетон, вып. VIII Института бетонов, 1931.
37. «Бетон с добавкой си-штофа», вып. VII Института бетонов, 1931.
38. Александрин, исследования бетона для дорожных одежд, 1931.
39. Сергеев, Наставление по торкретированию, 1932, изд. НКПС.
40. Бетон в море, 1932, вып. Закавказского института сооружений.

Вязущие материалы

41. Проф. Байков, «Строительные материалы», «Сборник статей ОНТС в Ленинграде», 1931.
42. «Новые шлаковые цементы», вып. IX Института бетонов, 1931.
43. Применение повышенного и высосортного цементов (Инструкция), «Строительный бюллетень», № 102, 1931.
44. Кюль, Химия цемента, 1931.
45. ОСТ — см. в приложении.
46. Проф. Княз. Специальные цементы, Химическая характеристика портланд-цемента, 1932 г.

Заполнители для бетона

47. Картошка стройматериалов Инпорса.
48. ОСТ — см. в приложении.

Влияние различных химических, физических и производственных факторов на бетон

49. Проф. Столяров, О влиянии времени на работу железобетона, Харьков 1931.
50. Грюн, Химическая стойкость бетона, 1931.
51. Kleinlogel u. and., Einflüsse auf Beton.
52. «Влияние производственных факторов на свойства бетона», вып. VI Института бетонов, 1931.

Зимнее бетонирование

53. «Технические условия», «Строительный бюллетень», 1932 — 33.
54. Вавилов и Соколов, Руководство по зимним работам, 1932.
55. Плотников и др., Бетонирование на морозе, изд. 2-е, 1932.
56. Сорокер, Бетонирование массивных конструкций в зимнее время, 1931.
57. Устройство и оборудование, Зимние строительные работы, Харьков 1931.
58. Проф. Гармаш, Зимние строительные работы, Днепропетровск 1931.
59. Проф. Киреевко, Бетонные работы на морозе, 1931.
60. Хизз Ч. Зимние строительные работы, 1931, ч. I и II.
61. Практика зимних работ на Краматоре, 1932.

Перемешивание бетона

62. Проф. Скрамтаев и Студенцов, Как организовать работу бетономешалки (Инструкция), 1931.

Экономика бетона

63. Проф. Скрамтаев и проф. Столяров, Выбор допускаемых напряжений в марок бетона, Л. 1931.
64. Проф. Васильев, Выбор марок бетона для железобетонных сооружений, 1932 г.

Гидравлические добавки

65. «Пуццолановые цементы», вып. 71, НТБ НКПС, 1927.
66. «Строительные материалы», 13-й сборник ЦНИИМ НКПС, 1931.
67. Проф. Деменьев, Опыт расчета количества пуццолан в растворе, 1932, Тифлис.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ

ВЯЖУЩИЕ (ЦЕМЕНТИРУЮЩИЕ) ВЕЩЕСТВА ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ. НОМЕНКЛАТУРА.

ОСТ
5051

А. Определение

Вязущими цементирующими веществами называются порошкообразные материалы, изготовляемые заводским способом, которые по затворении их водой образуют тесто, превращающееся само по себе на воздухе или в воде в твердое камневидное тело.

В зависимости от способности затвердевшего теста длительно сохранять свою прочность лишь на воздухе или как на воздухе, так и в воде вещества эти разделяются на воздушные вязущие вещества, могущие применяться лишь в сооружениях, не подвергающихся действию воды, и гидравлические вязущие вещества, могущие применяться как в сооружениях, не подвергающихся действию воды, так и в сооружениях, действию воды подвергающихся.

Б. Номенклатура

Все вязущие вещества делятся на следующие группы с подразделениями.

ГРУППА I

Воздушные вязущие вещества (воздушные цементы).

1. Воздушная известь есть продукт, получаемый обжигом до возможно полного выделения углекислоты CO_2 чистых или доломитизированных известняков, не содержащих значительных примесей глинистых веществ. Получаемое из воздуха и извести при гашении ее достаточным количеством воды известковое тесто при хранении без доступа воздуха в течение неограниченного времени не отвердевает.

Кипелкой или комовой негашеной известью называется воздушная известь в кусках белого или серого цвета в том виде, как она получается после обжига. Главной составной частью кипелки является безводная окись кальция CaO .

Пуллонкой (гидратной известью) называется гашеная известь, получаемая при действии на кипелку ограниченного количества воды, имеющая вид тонкого порошка, главной составной частью которого является гидрат окиси кальция Ca(OH)_2 .

Жарной называется известь, получаемая из известняков с малым содержанием глинистых и песчаных примесей, гасящаяся быстро и со значительным выделением тепла, образующая при этом тесто, весьма объемистое, пластичное и жирное на ощупь.

Тошей называется известь, получаемая из известняков с несколько большим содержанием глинистых и песчаных примесей, гасящаяся менее энергично, чем жарная, и дающая менее пластичное тесто, шероховатое на ощупь (вследствие большей крупности частиц).

2. Гипсовые вязущие вещества суть продукты, получаемые из природного двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ или из природного ангидрита CaSO_4 , а именно:

а) штукатурный гипс (так называемый алебастр) есть продукт, получаемый умеренным обжигом природного двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при температуре обжигаемого материала от 120 до 200°C до превращения его в полуводный гипс ($\frac{1}{2}\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) с последующим или предшествующим обжигу перемолом его в тонкий порошок;

б) формовочный гипс, применяемый для строительных целей, есть продукт, получаемый подобно штукатурному гипсу в отличающийся от последнего более тонким помолом и иными сроками схватывания;

в) ангидритовый цемент есть продукт, получаемый обжигом природного двухводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) при температуре между 400 и 750°C и последующим перемолом его совместно с различными добавками; взамен обожженного двухводного гипса может быть применен природный ангидрит без предварительного обжига, только перемолотый с соответствующими добавками;

г) астрих-гипс (гидравлический гипс) есть продукт, получаемый обжигом природного двухводного гипса или природного ангидрита при температуре не ниже 900°C и последующим перемолом обожженного продукта;

д) гипсовый цемент есть продукт, получаемый совместным перемолом в тонкий порошок природного двухводного гипса со специальными добавками без последующего обжига смеси.

Применяемые при изготовлении ангидритового и гипсового цементов добавки могут быть введены в продукт и после его измола посредством затворения его с водными растворами этих добавок.

3. Магнезические вяжущие вещества:

а) каустический магнезит есть продукт, получаемый умеренным обжигом природного магнезита MgCO_3 и последующим измельчением его в тонкий порошок; затворение каустического магнезита производится при помощи растворов определенной концентрации хлористого магния MgCl_2 и в таком виде он известен под названием цемента Сореля; вместо раствора хлористого магния могут быть применяемы растворы некоторых других солей;

б) каустический доломит есть продукт, получаемый умеренным обжигом природного доломита $\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$ и последующим измельчением его в тонкий порошок; затворение каустического доломита производится при помощи растворов определенной концентрации хлористого магния или некоторых других солей.

ГРУППА II

Гидравлические вяжущие вещества (гидравлические цементы).

А. Вяжущие вещества, не содержащие гидравлических добавок или содержащие их не более 15%.

1. Гидравлическая известь есть продукт, получаемый умеренным обжигом, не водным до спекания мергелястых известняков, недоломитизированных или доломитизированных, содержащих обычно от 6 до 20% глинистых примесей. При смачивании водой гидравлическая известь полностью или частично рассыпается в порошок (гасится) и с достаточным количеством воды образует тесто, которое, начав твердеть на воздухе, продолжает отвердевать и под водой без доступа воздуха.

Гидравлические и весты в зависимости от скорости процесса отвердевания и от достигаемой при этом механической прочности разделяются на сильно гидравлические и слабо гидравлические.

Гидравлическая известь подразделяется на негашеную (комовая) и гашеную (дополнительно измолотая в порошок или отсеиваемая).

2. Роман-цемент есть продукт тонкого перемолва обожженных при температуре, не доводящей материал до спекания, естественных известняковых или магнезических мергелей. Продукт этот после обжига при смачивании водой не гасится (не распадается в порошок); тесто из роман-цемента твердеет в воде.

3. Портланд-цемент есть гидравлическое вяжущее вещество, продукт тонкого перемолва 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, доломит и т. п.).

Количество гипса, прибавляемого к клинкеру при его перемолве для замедления схватывания портланд-цемента, не должно превышать 3% по весу. Кроме того для улучшения качества цемента допускается добавка к клинкеру при его перемолве (без изменения наименования продукта) до 15% гранулированных доменных шлаков, пригодных для изготовления шлако-портланд-цемента, или до 10% кислых гидравлических добавок, пригодных для изготовления пуццоланового портланд-цемента или до 10% кварцевого песка.

В зависимости от механической прочности портланд-цемент делится на три марки: «О» (обыкновенный), «ОО» (повышенный) и «ООО» (высокопрочный), от различия в возрастании механической прочности изготовленных из них растворов.

4. Глиноземистый цемент есть гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путем тонкого перемолва продукта обжига до сплавления или до спекания смеси материалов,

богатых глиноземом (например боксит) с известью или известняком. Продукт этот характеризуется быстрым возрастанием механического сопротивления изготовленных из нем растворов. Количество посторонних веществ, добавляемых к продукту обжига при его перемоле для регулирования схватывания глиноземистого цемента, не должно превышать 2% по весу.

Отношение выраженных в процентах весового количества окиси кальция CaO к сумме весовых количеств кремнезема и глинозема $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$, т. е. значения величины

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} < 1,$$

в готовом продукте должно быть менее 1.

Б. Вяжущие вещества, содержащие гидравлические добавки в количестве более 15%.

1. Вещества, получаемые смешением извести с гидравлическими добавками:

а) известково-пуццолановый цемент есть продукт теснейшего смешения заводским путем порошкообразной гашеной извести с предварительно измолотой в тонкий порошок кислой гидравлической добавкой; весовое содержание гашеной извести в готовом продукте колеблется обычно от 10 до 30%;

б) известково-шлаковый цемент есть продукт теснейшего смешения заводским путем порошкообразной гашеной извести с предварительно измолотым в тончайший порошок гранулированным доменным шлаком; весовое содержание гашеной извести в готовом продукте в зависимости от свойств и состава шлака колеблется обычно от 10 до 30%;

в) известково-золиный цемент (изоль-цемент) есть продукт теснейшего смешения заводским путем порошкообразной гашеной извести с предварительно измолотой в тонкий порошок сухой золой, некоторых видов каменного угля или горючих сланцев, полученных при сжигании их на колосниковых решетках, или продукт совместного перемолу сухой гашеной извести с той же, но измелченной золой.

Весовое содержание гашеной извести в готовом продукте колеблется в зависимости от состава золы в пределах от 20 до 50%;

г) глинист-цемент есть продукт совместного перемолу обожженной при 750—800°C, но возможности богатой глиноземом и с малым содержанием крупного песка глины с сухой гашеной известью в определенной пропорции и с небольшим количеством гипса.

2. Вещества, получаемые смешением портланд-цемента с гидравлическими добавками:

а) пуццолановый портланд-цемент есть продукт, получаемый путем совместного перемолу портланд-цементного клинкера и кислой гидравлической добавки. Весовой процент содержания портланд-цемента в продукте может колебаться в широких пределах в зависимости от состава и свойства добавки;

б) шлако-портланд-цемент есть продукт, получаемый путем совместного перемолу портландцементного клинкера и гранулированного доменного шлака. Весовое содержание шлака в готовом продукте зависит от свойств и состава шлака и не должно превышать 85%.

Количество гипса, прибавляемого к клинкеру и шлаку при их перемолу для замедления схватывания шлако-портланд-цемента, не должно превышать 3%.

В. Вещества из гидравлических добавок с введением катализатора.

Шлаковый бесклинкерный цемент есть продукт, получаемый из гранулированных сильно основных доменных шлаков или основных доменных шлаков с искусственно повышенным (обогащенным) перед грануляцией содержанием окиси кальция, подвергнутых в высушенном состоянии, без добавки портландцементного клинкера, совместному перемолу с ускоряющими твердение шлака минеральными веществами (обожженный доломит, ангидрит, растворимое стекло, гипс, соли и пр.).

Гидравлические добавки

Гидравлические добавки делятся на кислые и основные.

А. Кислые гидравлические добавки.

Кислыми гидравлическими добавками называются естественные или искусственные материалы, в составе которых преобладают кремнезем и глинозем $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$.

Будучи в порошкообразном состоянии затворены водой, кислые гидравлические

Б. Технические условия

а) Содержание гидратной воды.

Содержание гидратной воды в штукатурном гипсе не должно быть более 7,5%.

Содержание гидратной воды в формовочном гипсе должно быть не менее 3% и не более 6%.

б) Время текучести. Время текучести формовочного гипса должно быть не менее 2 мин.

Примечание. Для штукатурного гипса определения времени текучести необязательно.

в) Сроки схватывания. Начало схватывания должно наступать не ранее 4 мин.; конец схватывания должен наступать: для штукатурного гипса не ранее 6 мин. и не позднее 30 мин.; для формовочного гипса — не позднее 20 мин.

Примечание. По соглашению между поставщиком и потребителем допускаются иные сроки схватывания и время текучести.

г) Тонкость помола. Штукатурный гипс не должен оставлять на сите с 64 отв/см^2 более 2% и должен давать остаток на сите с 900 отв/см^2 не более 30% от навески. Формовочный гипс должен без остатка проходить через сито с 64 отв/см^2 и должен давать остаток на сите с 900 отв/см^2 не более 10% от навески.

д) Временное сопротивление растяжению. Штукатурный и формовочный гипс должен показывать через 1 день не менее 7 кг/см^2 , а через 7 дней не менее 14 кг/см^2 .

В. Правила приемки

а) Отбор проб

1. Величина партии штукатурного или формовочного гипса, над которой производится все устанавливаемые настоящим стандартом испытания, определяется в каждом отдельном случае соглашением сторон.

2. От подлежащей приемке партии штукатурного или формовочного гипса намечают в разных частях ее не менее 10 упаковочных мест. От каждого упаковочного места сверху (из середины) отбирают по 1,5 кг. В случае отправки внавалку из каждого вагона, из 10 различных мест, отбирают по 1,5 кг. Отобранные таким образом пробы тщательно смешивают вместе, а затем делят на три равные части по 5 кг каждая, из которых одна передается приемщику, другая — поставщику, а третья хранится на случай возможных повторных испытаний.

Все пробы должны быть отобраны в присутствии приемщика на заводе или на складе поставщика и должны помещаться для каждой партии в отдельные стеклянные или жестяные герметически закупориваемые сосуды, опечатываемые печатями приемщика и поставщика.

Примечание. При поставке партий свыше вагона отбор проб производится для каждого вагона в отдельности.

б) Методы испытаний

1. Определение содержания гидратной воды. Около 1 г гипса овешивается в небольшой фарфоровый тигель. Последний помещается в платиновый тигель подходящего размера так, чтобы половина фарфорового тигля находилась внутри, а половина — снаружи платинового тигля. Затем платиновый тигель постепенно нагревается до красного каления всей нижней его половины и выдерживается таким образом еще в течение полчаса.

Примечание. Допускается замена платинового тигля фарфоровым.

Потеря в весе, разделенная на навеску и умноженная на 100 дает процентное содержание гидратной воды в гипсе.

2. Определение нормальной плотности. Количество воды, необходимое для получения из штукатурного или формовочного гипса теста нормальной плотности, вычисляется в процентах по формуле:

$$Q = \left(1 - \frac{p}{1000d}\right) \cdot 100,$$

где p — вес 1 л испытываемого гипса в рыхлом состоянии, а d — удельный вес его.

Вес 1 л в рыхлом состоянии определяется при помощи воронки Гари или наклонной плоскости и литрового сосуда, обычно применяемых при определении веса 1 л цемента.

Удельный вес определяется в приборе Лешателье-Кандло, как указано в методах испытаний портланд-цемента (ОСТ 1310). Предварительное подсушивание гипса для этого определения не требуется.

Определение нормальной густоты может также производиться при помощи вискозиметра Суттарда.

Прибор состоит из медного или латунного цилиндра 5,03 см внутреннего диаметра и 10,15 см высоты и квадратного листового стекла с размером сторон в 20,3 см.

Цилиндр должен быть хорошо отполирован у краев и внутри и точно удовлетворять указанным размерам.

На стекло наносится ряд концентрических окружностей с диаметром 6—20 см, причем окружности диаметром до 14 см наносятся через каждый 1 см, а остальные через 2 см.

Примечание. Так как нанесение окружностей на стекло не всегда является возможным, их можно вычерчивать на обыкновенной бумаге и помещать бумагу между двумя листами стекла.

Перед употреблением цилиндр смачивают чистой водой, а стеклянную пластинку — влажной тряпкой. При этом не должно оставаться схватившегося гипса, так как последний сам по себе способен изменять время схватывания гипса. Стеклянная пластинка устанавливается строго горизонтально, причем цилиндр ставится в центре концентрических окружностей.

При определении готовят смесь штукатурного гипса с водой в количестве, достаточном для заполнения цилиндра (300 г). Гипс в отдельной чашке добавляют к воде, быстро размешивают (снизу вверх) в течение около 30 сек. до состояния однородной массы, дают 2 мин. стоять и быстро выливают тесто в цилиндр, поставленный на стекло, ножом разравнивая гипс до уровня цилиндра. На последние операции тратится около 200—300 сек. Резким и правильным движением поднимают цилиндр снизу вверх, при этом на стекле масса разливается в конусообразную лепешку, величина которой обуславливается консистенцией теста.

Требуемой густотой обладает тесто, которое дает лепешку в среднем диаметром около 12 см. Нормальная густота выражается числом кубических сантиметров воды, приходящихся на 100 г гипса. Тесто при затворении гипса водой имеет вначале густоту жидкой сметаны, которая через 2 мин. густеет до консистенции, дающей лепешку требуемой величины (диаметр 12 см).

3. Определение времени текучести и сроков схватывания. Употребляемый для определения времени текучести и сроков схватывания прибор Вика должен быть точно такой же, как и применяемый при испытании портланд-цемента (ОСТ 1310), но нагрузка прибора должна быть равна не 300, а 120 г.

В металлическую или фарфоровую чашку отвешивают такое количество воды, которое соответствует нормальной густоте 200 г-гипса, затем всыпают сюда предварительно отвешенные 200 г гипса и перемешивают смесь при помощи ложки или лопаточки. Всыпание гипса должно производиться по возможности равномерно в течение 30 сек., а перемешивание массы должно также продолжаться в течение 30 сек. После этого массу наливают в кольцо прибора Вика, избыток ее срезают ножом и им же выравнивают поверхность.

Затем кольцо помещают под иглу Вика и опускают последнюю через каждые полминуты, строго руководствуясь теми указаниями, которые даются по этому поводу в методах испытаний портланд-цемента. Каждый раз игла должна протыкать тесто по свежему месту и по вытупу из теста должна вытираться.

При этом отмечают три момента: 1) момент, когда получающееся от протыкания иглой отверстие не будет более запылять; 2) момент, когда игла начинает не доходить до дна, и 3) момент, когда игла опускается в тесто не более как на 0,5 мм.

Временем текучести в соответствии с этим называется промежуток времени от начала всыпания гипса в воду до того момента, когда отверстие не будет более запылять; началом схватывания — промежуток времени от начала всыпания гипса в воду до того момента, когда игла начинает не доходить до дна, а концом схватывания, когда игла опускается в тесто не более как на 0,5 мм.

4. Определение тонкости помола. Тонкость помола определяется путем последовательного просеивания 100 г гипса через сито с 64 отв/см^2 и 900 отв/см^2 и взвешиванием остатков на них. Вес остатка в граммах выражает процент остатка гипса на соответствующем сите.

5. Определение временного сопротивления растяжению. Для приготовления каждого из образцов в металлическую или фарфоровую чашку отвешивают количество воды, соответствующее нормальной густоте 600 г гипса. Затем в течение полминуты всыпают сюда предварительно отвешенные 600 г гипса и в конце в течение еще полминуты массу тщательно перемешивают.

Немедленно после этого массу разбивают в шесть разъемных форм таких же размеров, как и употребляемые при испытании цементного теста (ОСТ 1310), предварительно слегка смазанные машинным маслом и расположенные на водонепоглощающей подкладке. Наполнение всех форм должно производиться одновременно, для чего чашку с гипсом все время водят над формами, разливая гипс тонкой струей.

По наполнении форм поверхность образцов сглаживают ножом.

По истечении 2 час. образцы освобождают из форм и помещают на открытые полки в сухом и теплом помещении. На полках образцы ставятся на ребро на расстоянии друг от друга, равном длине образца.

Сохраняемые таким образом образцы по прошествии соответствующего срока, 1 и 7 дней, разрываются при помощи разрывного аппарата Михайлиса согласно ОСТ 1310. В каждый срок разрывается по 6 образцов. Временное сопротивление растяжению определяется как среднее из четырех наибольших результатов.

Г. Упаковка

а) Штукатурный и формовочный гипс упаковывается в мешки весом по 80 кг нетто.

Примечание. По соглашению между поставщиком и потребителем допускается и иная упаковка. Допускается также отправка без тары ввалом.

б) На упаковках должны быть обозначены: наименование продукта, название завода и объединения, номер заводской партии, год и месяц изготовления гипса;

в) Убыль от распуска определяется для каждой отдельной поставки соглашением между поставщиком и покупателем в зависимости от размера поставки, но не должна превышать 2%.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 23 февраля 1931 г. как обязательный с 1 апреля 1931 г.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ

ИЗВЕСТЬ ВОЗДУШНАЯ

ОСТ
2643

А. Определение и классификация

Воздушная известь есть продукт, получаемый обжигом до возможно полного выделения углекислоты (CO_2) чистых или доломитизированных известняков, не содержащих значительных примесей глинистых веществ. Получаемое из воздушной извести при гашении ее достаточным количеством воды известковое тесто при хранении без доступа воздуха в течение неограниченного времени не отвердевает¹.

Кипелкой или комовой негашеной известью называется воздушная известь в кусках белого или серого цвета, в том виде, как она получается после обжига. Главной составной частью кипелки является безводная окись кальция (CaO).

Пушонкой называется гашеная известь, получаемая при действии на кипелку ограниченного количества воды, имеющая вид тонкого порошка, главной составной частью которого является гидрат окиси кальция Ca(OH)_2 .

Жирной называется известь, получаемая из известняков с малым содержанием глинистых и песчаных примесей, гасящаяся быстро и со значительным выделением тепла, образуя при этом тесто, весьма объемистое и жирное на ощупь.

Тощей называется известь, получаемая из известняков с несколько большим содержанием глинистых и песчаных примесей, гасящаяся менее энергично, чем жирная, и дающая тесто шероховатое на ощупь (вследствие большей крупности частиц).

Б. Технические условия

а) Химический состав. Кипелка должна содержать не менее 85%, а пушонка не менее 65% окиси кальция и окиси магния (в сумме).

¹ Стандарт на известковое тесто будет установлен дополнительно.

б) Содержание мелочи в кипелке. Кипелка (комовая известь) не должна содержать мелочи (кусков меньше 15 мм) более 10% от общего веса.

в) Выход теста. Жирная воздушная известь должна давать при гашении 5 кг кипелки не менее 11 л теста. Известь, дающая менее 11 л теста, должна быть отселевана к разряду тощих.

г) Содержание негашающихся зерен. Тесто, полученное из кипелки, не должно содержать более 10% (от веса взятой кипелки) зерен, не проходящих через сито со стороной квадратного отверстия в свету в 0,6 мм.

Содержание в пушонке зерен размеров более 0,6 мм не должно превышать 10% (от веса взятой пушонки).

В. Правила приема

а) Отбор проб

1. Величина партии, над которой производится все предусмотренные настоящим стандартом испытания, в каждом отдельном случае определяется взаимным соглашением сторон.

2. Для определения химического состава, выхода теста и содержания негашающихся зерен отбирают пробу согласно следующему: от каждой партии кипелки отбирают из 20—30 разных мест, по усмотрению приемщика, по крупному куску, который затем разбивают на куски величиной не более 7—8 см и основательно перемешивают, после чего отбирают пробу весом в 15 кг.

От каждой партии пушонки (или негашеной извести в мелких кусках) отбирают из 20—30 разных мест, по усмотрению приемщика, по одной лопате извести, основательно перемешивают и отбирают пробу весом в 15 кг.

Предназначенные для испытания пробы должны помещаться для каждой партии в отдельную стеклянную или жестяную герметически закрываемую тару и опечатываться печатями приемщика и поставщика.

Примечание. В исключительных случаях допускается для проб деревянная тара, выложенная внутри бумагой.

Для определения мелочи в комовой извести отбирают по усмотрению приемщика отдельную пробу, также из разных мест, весом в 100 кг.

б) Методы испытаний

1. Определение химического состава. Определение содержания окиси кальция в кипелке производится путем титрования. Для этого доставленную пробу извести (весом около 15 кг) разбивают на куски диаметром в 1—2 см, тщательно перемешивают, отбирают около 500 г, подвергают дальнейшему измельчению до величины зерен около 1—2 мм, снова тщательно перемешивают и отбирают около 10 г, которые истирают до порошкообразного состояния. Все перечисленные операции нужно производить в сухом помещении и по возможности быстро. От полученного порошка берется навеска около 1 г, которую переносят в широкогорлую колбу, обливают примерно 25 см³ горячей воды, закрывают колбу резиновой пробкой и оставляют стоять на полчаса.

По истечении указанного времени в колбу добавляют 2—3 капли спиртового раствора фенолфталеина и титруют нормальным раствором соляной кислоты (1 см³ отвечает 0,028 г СаО) до исчезновения розового окрашивания, прибавляя последние порции кислоты по каплям.

Титрование должно производиться при постоянном взбалтывании, причем по исчезновении розового окрашивания колбу вновь закрывают и оставляют стоять, время от времени взбалтывая. Если при этом розовое окрашивание вновь не появляется, титрование считается законченным, в противном случае нужно добавить кислоту до исчезновения окрашивания и колбу оставить вновь стоять. Таким образом поступают до тех пор, пока розовое окрашивание не будет более появляться.

Количество окиси кальция определяется в процентах по формуле:

$$x = \frac{b \times 0,028}{a} \times 100,$$

где x — содержание СаО в процентах, b — число кубических сантиметров нормального раствора соляной кислоты, пошедшее на титрование, a — навеска извести в граммах (с точностью до 0,001 г).

При пользовании приблизительным нормальным раствором соляной кислоты в

формулу для определения количества окиси кальция следует ввести соответствующий поправочный коэффициент.

При определении окиси кальция в пушонке поступают по предыдущему с той лишь разницей, что гашение извести в этом случае производить не требуется.

При этом методе определяется лишь та окись кальция (CaO), которая присутствует в продукте в свободном состоянии и в виде гидрата окиси Ca(OH)_2 . CaO , находящийся в продукте в виде углекислого кальция (CaCO_3), этим методом не определяется. Находящаяся в продукте окись магния (MgO) принимается при подсчете результата титрования за окись кальция (CaO).

2. Определение мелочи в комовой извести. Отобранное количество извести (100 кг) пропускают через грохот с шириной отверстий в 15 мм, отбрасывая предварительно крупные куски. Прошедшее через грохот взвешивают с точностью до 0,1 кг. Полученный вес в килограммах отвечает процентному содержанию мелочи в испытуемой извести.

3. Определение выхода теста. 5 кг кипелки, разбитой на куски величиной 1—2 см, кладут в цинковый (или деревянный, выложенный цинком) ящик, у которого площадь дна равна 1000 см² (например 31,7 × 31,7 см), а высота — около 40 см.

Наливают столько воды комнатной температуры, чтобы покрыть известь в ящике, и прикрывают последний. Ящик должен быть по возможности защищен от охлаждения. По мере гашения, если понадобится, добавляют воду для того, чтобы она была в конце гашения в небольшом избытке и покрывала тесто.

Через 24 часа снимают крышку и, слив воду, оставляют ящик стоять при комнатной температуре открытым до тех пор, пока на поверхности теста не появятся трещины, после чего в ящике измеряют высоту слоя теста. Каждый сантиметр высоты слоя теста отвечает 1 %.

По определении выхода теста вычисляют, какое количество теста в килограммах получается из 1 кг кипелки, для чего взвешивают ящик с тестом, из полученного веса вычитают вес ящика и разность делят на 5.

4. Определение содержания непогасившихся зерен. Для определения процента непогасившихся зерен берут из ящика тесто (полученное при определении выхода) в количестве, которое соответствует 1 кг кипелки, разбавляют его водой до получения известкового молока и постепенно переносят на сито со стороной квадратного отверстия в свету в 0,6 мм, одновременно промывая слабой непрерывной струей воды и отнюдь не растирая остающихся на сите зерен. Остаток на сите высушивают до постоянного веса при 105—110° С и взвешивают. Полученный вес остатка в граммах, деленный на 10, дает процент непогасившихся зерен.

Для определения непогасившихся зерен в пушонке берут навеску в 100 г и пропускают через сито со стороной квадратного отверстия в свету в 0,6 мм. Вес остатка в граммах отвечает проценту непогасившихся зерен в пушонке.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 23 февраля 1951 г. как обязательный с 1 апреля 1951 г.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ

ИЗВЕСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ

ОСТ

2644

А. Определение и классификация

Гидравлическая известь есть продукт, получаемый умеренным обжигом, не доведенных до спекания мергелистых известняков, недоломитизированных или доломитизированных, содержащих обычно от 6 до 20% глинистых примесей. При смачивании водой гидравлическая известь полностью или частично рассыпается в порошок (гасится) и с достаточным количеством воды образует тесто, которое, начав твердеть на воздухе, продолжает отвердевать и под водой, без доступа воздуха.

Гидравлические извести, в зависимости от скорости процесса отвердевания и от достигаемой при этом механической прочности, разделяются на сильно гидравлические и слабо гидравлические.

Гидравлическая известь подразделяется на негашеную в кусках (комовая) и гашеную (дополнительно измолотая в порошок или отсеянная).

В. Технические условия

а) Химический состав. Химический состав не устанавливается, но по требованию заказчика поставщик обязан сообщать ему химический анализ поставляемой извести.

б) Содержание непогасившихся зерен. Погашенная в порошок комовая гидравлическая известь при просеивании через сито со стороной квадратного отверстия в свету 1,5 мм не должна давать остатка более 15% от веса непогашенной извести.

в) Тонкость помола. Гашеная и дополнительно измолотая в порошок гидравлическая известь, предварительно высушенная при температуре 105—110° С и тщательно перемешанная, при просеивании через сито со стороной квадратного отверстия в свету 0,2 мм не должна давать остатка более 10% по весу.

г) Равномерность изменения объема. Гидравлическая известь должна обнаруживать равномерность изменения объема при испытании в воде.

д) Механическая прочность (факультативно). Раствор гидравлической извести с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен дать величины временного сопротивления соответственно данным следующей таблицы.

Род извести	Условия хранения		Временное сопротивле- ние растяже- нию не менее кг/см ²	Временное сопротивле- ние сжатия не менее кг/см ²
	на воздухе	в воде		
	число суток			
Слабо гидравлическая	21	7	2	6
	21	35	3	8
Сильно гидравлическая	7	21	4	15
	7	49	6	25

В. Правила приемки

а) Отбор проб

1. Величина партии, над которой производится все устанавливаемые настоящим стандартом испытания, в каждом отдельном случае определяется взаимным соглашением поставщика и потребителя.

2. От каждой партии комовой гидравлической извести отбирают из 20—30 разных мест, по усмотрению приемщика, по одному крупному куску, которые затем разбивают на куски величиной не более 7—8 см, основательно смешивают и отбирают пробу весом в 15 кг. Отобранную пробу помещают в сосуд, который потом плотно закупоривают и направляют для испытания.

3. От каждой партии гашеной гидравлической извести отбирают из 20—30 разных мест, по усмотрению приемщика, по одной лопате извести, тщательно перемешивают и поступают по предыдущему.

б) Методы испытаний

1. Определение содержания непогасившихся зерен. Подлежащая испытанию проба комовой гидравлической извести дробится на куски величиной 1—2 см, перемешивается и просеивается для отделения мелочи через сито с 9 отверстиями на 1 см². От оставшихся на сите кусков отweighивают 5 кг извести, помещают в корзину диаметром в 25 см и высотой в 30 см, изготовленную из проволочной ткани примерно с 25 отверстиями на 1 см², и погружают в воду с температурой около +20° С, в которой держат, пока не закончится энергичное выделение пузырьков

духа. Тотчас же после этого известь пересыпают из корзины в цинковый (или оцинкованный, выложенный цинком), предварительно взвешенный ящик. В случае, если известая известью воды окажется недостаточно, чтобы произвести полное гашение, известь осторожно при помощи маленькой лейки поливают небольшим количеством воды. По окончании гашения ящик закрывают плотной крышкой и оставляют стоять в лаборатории на 3 суток.

Для определения процента непогасившихся зерен берут из ящика с порошком такое количество его, которое соответствует 1 кг комовой гидравлической извести, просеивают через сито со стороной квадратного отверстия в свету в 1,5 мм; остаток на сите высушивают в течение 1 часа при 105—110° С и взвешивают. Полученный вес остатка в граммах, деленный на 10, дает процентное содержание непогасившихся зерен.

2. Определение тонкости помола. Для определения тонкости помола гашеной и дополнительно измолотой в порошок гидравлической извести от подлежащей испытанию пробы, предварительно высушенной при температуре 105—110° С и тщательно перемешанной, берут навеску извести в 100 г и просеивают через сито со стороной квадратного отверстия в свету в 0,2 мм. Вес остатка на этом сите, выраженный в граммах, соответствует проценту остатка.

Взвешивание при этом определении должно производиться с точностью до 0,1 г. 3. Проба на равномерность изменения объема. Для этого испытания пользуются известью, погашенной в порошок, как указано в пункте 1.

Берут 1200 г порошка и затворяют с водой в густое тесто. Из последнего изготовляют лепешки, пользуясь для этого указаниями, наложенными в методах испытаний портланд-цемента (ОСТ 1310). Лепешки по изготовлении помещают в цинковый ящик, плотно закрываемый крышкой, внутренняя поверхность которой выложена войлоком, время от времени увлажняемым.

По истечении 7 суток одна из лепешек кладется в воду комнатной температуры на 24 часа. Если после указанного срока хранения в воде при осмотре лепешки наблюдается разрушение ее, то в воду помещают следующую лепешку также на 24 часа. Таким образом поступают до тех пор, пока лепешка, пролежавшая в воде в течение суток, не будет показывать следов разрушения.

После указанного предварительного испытания 3 лепешки помещают в воду комнатной температуры для определения равномерности изменения объема.

Гидравлическая известь признается выдержавшей испытание на равномерность изменения объема, если лепешки по истечении 10 дней хранения их в воде не показывают ни трещин, ни искривлений.

Испытание на механическую прочность. Испытание на механическую прочность производится согласно методам испытаний портланд-цемента (ОСТ 1310) со следующими изменениями.

При изготовлении образцов следует брать на 3 весовых части нормального песка такое количество гашеной гидравлической извести, которое отвечает 1 части негашеной извести.

В случае доставки извести в кусках берется порошок, получаемый при определении содержания непогасившихся зерен, предварительно просеянный через сито со стороной квадратного отверстия в свету в 0,6 мм; при доставке извести в гашеном состоянии необходимое для испытания количество извести берется непосредственно от присланной пробы. В том и другом случаях определяется потеря при прокаливании, и на основании полученных результатов вычисляется то количество гашеной извести, которое соответствует 1 части негашеной извести.

Для затворения раствора берется такое количество воды, чтобы при числе ударов копровой бабы, отвечающем нормальной работе 1 кг на 10 г сухой смеси, получились образцы, легко вынимаемые из форм, не изменяющие при этом своих основных размеров и с сохранившимися углами и ребрами.

Первые сутки по изготовлении образцы хранятся во влажном пространстве, а затем, до погружения их в воду, хранятся на воздухе в помещении лаборатории в течение 20 дней при испытании слабо гидравлической извести и 6 дней при испытании сильно гидравлической извести.

Примечание. В тех случаях, когда завод не указывает рода гидравлической извести, испытание ее на механическую прочность производится при соблюдении условий хранения для полужесткой или для слабо гидравлической извести и для второй половины — как для сильно гидравлической извести.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 23 февраля 1931 г. как обязательный с 1 апреля 1931 г.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ
ПОРТЛАНД-ЦЕМЕНТ высокосортный (марка 000)	2639

А. Определение

Высокосортным называется портланд-цемент, растворы из которого уже в первые дни твердения показывают повышенную механическую прочность.

Б. Технические условия

- а) Количество добавляемого к клинкеру гипса.
Химический состав
Удельный вес
Сроки схватывания
Равномерность изменения объема

То же, что и для обыкновенного портланд-цемента согласно ОСТ 1309.

б) Тонкость помола. Остаток на сите в 900 отверстий на 1 см^2 не должен быть более 1%, (от навески). Через сито в 4900 отверстий на 1 см^2 должно проходить не менее 85% (от навески).

в) Временное сопротивление растяжению. Чистый высокосортный портланд-цемент должен показать через 3 дня не менее 30 кг/см^2 , через 7 дней — не менее 40 кг/см^2 и через 28 дней — не менее 55 кг/см^2 .

Раствор высокосортного портланд-цемента с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен показать через 3 дня не менее 18 кг/см^2 , через 7 дней — не менее 23 кг/см^2 и через 28 дней — не менее 28 кг/см^2 .

г) Временное сопротивление сжатию. Раствор с нормальным песком пропорции 1:3 по весу должен показать через 3 дня не менее 200 кг/см^2 , через 7 дней — не менее 300 кг/см^2 и через 28 дней — не менее 420 кг/см^2 .

В. Правила приемки

а) Отбор проб и общие указания

Средняя проба отбирается для каждых 1000 бочек. Во всем остальном остаются в силе все указания, изложенные в ОСТ 1309 (раздел Г).

б) Методы испытаний

Методы механических испытаний — ОСТ 1310.

Химический анализ — ОСТ 79.

Г. Упаковка

Упаковка — ОСТ 1309.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Совете труда и оборонам 23 сентября 1931 г. как обязательный с 1 апреля 1931 г.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ
ПОРТЛАНД-ЦЕМЕНТ	79
Методы химического анализа	

А. Подготовка вещества для анализа

Около 10 г высушенного при 105°C в продолжение 2 час. портланд-цемента быстро растирают в агатовой ступке.

В. Потери при прокаливании

Навеску портланд-цемента около 1 г помещают в платиновый тигель емкостью в 30—25 см³ и, закрыв крышечкой, постепенно нагревают на очень малом огне в течение 5 мин. Затем дают полное пламя бензиновой горелки Бартельса или газовой горелки Вунзена и прокаливают в течение 15 мин., после чего, охладив в эксикаторе, взвешивают.

В. Кремнекислота и нерастворимое

Навеску около 1 г в фарфоровой чашке осторожно смачивают 10 см³ воды и, прикрыв стеклом, прибавляют 25 см³ соляной кислоты (уд. вес 1,19). Когда прекратится выделение пузырьков газа, стекло снимают, обмывают его дистиллированной водой и, при частом помешивании стеклянной палочкой, выпаривают содержимое чашки на водяной бане досуха, тщательно раставляя затем сухой остаток для более быстрого удаления последних следов соляной кислоты.

Совершенно сухой остаток нагревают в сушильном шкафу в течение часа при температуре 110—115° С. По охлаждении смачивают содержимое чашки 10 см³ соляной кислоты (уд. вес 1,19), покрывают стеклом и оставляют стоять 10 мин. По истечении этого времени прибавляют 100 см³ кипящей воды, хорошо перемешивают и, дав осадку отстояться, фильтруют горячий раствор через 9-сантиметровый беззольный фильтр.

Промывание — сначала декантацией, горячей водой с прибавлением нескольких капель соляной кислоты, затем на фильтре — чистой горячей водой до тех пор, пока проба промывных вод не перестанет давать мути с раствором азотно-серебряной соли.

Фильтрат и промывные воды следует вторично выпарить досуха, и полученный сухой остаток снова подвергнуть вышеуказанной обработке. Выделенный таким путем небольшой осадок кремнекислоты отфильтровывают на отдельный маленький фильтр и присоединяют к главному осадку.

Влажный осадок кремнекислоты вместе с фильтром помещают во взвешенный платиновый тигель и, закрыв крышечкой, нагревают маленьким пламенем до полного выделения газообразных продуктов. Затем, несколько сдвинув крышечку тигла, нагревают сильнее, пока осадок не побелеет, и наконец сильно прокаливают в течение 20 мин. Охлаждают в эксикаторе и взвешивают.

Прокаливание повторяют до постоянного веса.

Привес тигля в граммах, умноженный на 100 и разделенный на навеску, дает процентное содержание кремнекислоты (и нерастворимого) в цементе.

Г. Окиси алюминия и железа

Фильтрат от кремнекислоты вместе с промывными водами сгущают в фарфоровой чашке выпариванием до объема около 150 см³ и нагревают до кипения.

К раствору, помешивая палочкой, прибавляют несколько кубических сантиметров бромной воды и затем по каплям 25%-ного аммиака в очень небольшом избытке и сейчас же фильтруют через 9-сантиметровый беззольный фильтр.

Промыв осадок 5 раз горячей водой, его смывают в ту же чашку, где производилось осаждение, и растворы в горячей разбавленной соляной кислоте. Части осадка, плотно приставшие к бумаге фильтра, растворяют на самом фильтре, присоединяя этот раствор к главному. Все вместе разбавляют водой до прежнего объема (150 см³) и вторично осаждают аммиаком, как выше указано.

Окончательное промывание осадка производят горячим 2%-ным раствором азотнокислого аммония с несколькими каплями аммиака, пока проба промывных вод, подкисленная азотной кислотой, не перестанет давать мути с кашей 1%-ного раствора азотносеребряной соли.

Влажный осадок гидратов окисей алюминия и железа вместе с фильтром помещают во взвешенный платиновый тигель и нагревают сперва очень слабо, потом сильнее при хорошем доступе воздуха. Когда сгорит уголь фильтра, тиглю дают остыть и смачивают его содержимое 2—3 каплями крепкой азотной кислоты. После очень осторожного высушивания над пламенем горелки тигель сильно прокаливают в течение 20 мин. и, охладив в эксикаторе, взвешивают. Прокаливание повторяют до получения постоянного веса.

Привес тигля в граммах, умноженный на 100 и разделенный на навеску, дает процентное содержание суммы окисей алюминия и железа в цементе.

Д. Окись кальция

К соединенным фильтратам от окисей алюминия и железа прибавляют по каплям соляную кислоту до слабой реакции. Раствор, если нужно, сгущают выпариванием до объема в 200 см³ и переносят его в большой стакан емкостью не менее 400 см³. Нагревают до кипения, прибавляют 2,5 см³ соляной кислоты (1:1) и 1,5 г раствора чистой кристаллической шавелевой кислоты в 10 см³ воды. Затем, продолжая кипячение и все время помешивая жидкость палочкой, медленно, по каплям, начинают прибавлять аммиак (1:10) до тех пор, пока кислая реакция раствора не изменится в щелочную. Затем прибавляют 25 см³ насыщенного раствора шавелево-аммониевой соли. Скорость прибавления аммиака нужно регулировать так, чтобы от начала образования осадка и до конца осаждения прошло не менее 10 мин. Об изменении реакции раствора судят при помощи лакмусовой бумажки или, что гораздо удобнее, прибавив к первоначальному раствору несколько капель метилоранжа (1:1000).

Через 4 часа осадок шавелевокальциевой соли отфильтровывают через беззольный 9-сантиметровый фильтр и промывают его 1%-ным раствором шавелевоаммониевой соли до тех пор, пока проба промывных вод, подкисленная азотной кислотой, не перестанет давать муть с 1%-ным раствором азотносеребряной соли.

Влажный осадок с фильтром кладут во взвешенный платиновый тигель и поступают с ним, как с осадком кремнекислоты. При прокаливании осадка окиси кальция нужно стараться, чтобы продукты горения не окружали тигля со всех сторон, в противном случае трудно достигнуть постоянства веса.

Взвешивание осадка CaO лучше производить в стаканчике с припаянной крышечкой, вес которого (вместе с тиглем) определяют заранее.

Привес тигля (со стаканчиком) в граммах, умноженный на 100 и разделенный на навеску, дает процентное содержание окиси кальция (CaO) в цементе.

Е. Окись магния

Фильтрат от кальция сгущают выпариванием до 120—150 см³, фильтруют, если он окажется слегка мутным, и охлаждают до 15—20° С. К совершенно прозрачному раствору прибавляют 5 см³ раствора фосфорно-аммониево-натриевой соли (10%) и по каплям, при постоянном помешивании, 50 см³ аммиака (1:10). Наконец вливают еще 20 см³ 25%-ного аммиака и дают несколько часов постоять (лучше до другого дня), время от времени помешивая.

Фильтруют через маленький 5-сантиметровый фильтр и промывают аммиаком (1:10), пока проба промывных вод, подкисленная азотной кислотой, не перестанет давать муть с каплей 1%-ного раствора азотносеребряной соли. Фильтр с осадком сушат в сушильном шкафу при температуре около 100° С.

Если осадок достаточно велик, его осторожно ссыпают с фильтра в черную глиняную банку, а фильтр сжигают отдельно в платиновой спирали и стряхивают пепел во взвешенный фарфоровый тигель, куда затем переносят и главную массу осадка.

Нагревание, сначала медленное и осторожное, при хорошем доступе воздуха, заканчивают на сильном огне, пока осадок совершенно не побелеет. Выгоранию угля помогает смачивание осадка несколькими каплями раствора азотноаммониевой соли с последующим осторожным высушиванием и прокаливанием. Если осадок очень мал, его помещают в тигель вместе с фильтром и поступают, как выше указано. Во всех случаях прокалывание ведут до побеления осадка и до постоянного веса.

Привес тигля в граммах, умноженный на 36,243 и разделенный на навеску, дает процентное содержание окиси магния (MgO) в цементе.

Ж. Ангидрид серной кислоты

Навеску в 1 г обрабатывают, как указано в п. Б. По отделении кремнекислоты дважды осаждают аммиаком окиси алюминия и железа по п. В, но без прибавления бромной воды. Осадок окисей сохраняют, если нужно, для определения в нем окиси железа. Соединенные фильтраты выпаривают до объема в 150 см³, нейтрализуют, если нужно, соляной кислотой и прибавляют 1 см³ соляной кислоты (уд. веса 1,19). Совершенно прозрачный, если нужно, профильтрованный раствор нагревают до кипения и осаждают при помешивании 5 см³ кипящего же раствора хлористого бария (10%), который сразу вливают в стакан, где производится осаждение. После отстаивания в теплом месте через 12 час. фильтруют через плотный беззольный 5-сантиметровый фильтр и промывают горячей водой, пока проба промывных вод не перестанет давать муть от прибавления капли 1%-ного раствора азотносеребряной соли.

Осадок вместе с фильтром помещают во взвешанный фарфоровый тигель, осторожно высушивают, обугливают и обеззоливают фильтр, и совершенно белый осадок сернобариевой соли прокалывают при хорошем доступе воздуха на бунзеновской (или безиновой) горелке в течение 15 мин. По охлаждении в эксикаторе взвешивают и контролируют постоянство веса повторным прокалыванием.

Принес тигля в граммах, умноженный на 34,293 и разделенный на навеску, дает процентное содержание серного ангидрида в цементе.

Допускаемые отклонения при повторных определениях

При определении: а) потери при прокалывании	$\pm 0,3\%$
б) окиси магния	$\pm 0,2\%$
в) серного ангидрида	$\pm 0,1\%$

Список реактивов, необходимых для анализа

1. Соляная кислота, уд. вес 1,19.
2. Соляная кислота, разбавленная 1:1 (по объему).
3. Серная кислота, разбавленная 1:5 (по весу).
4. Азотная кислота разбавленная, уд. вес 1,40.
5. Аммиак — 25%.
6. Аммиак, разбавленный 1:10 (по объему).
7. Бромная вода — насыщенный на холоде раствор.
8. Щавелевая кислота кристаллическая ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).
9. Раствор фосфорно-аммониево-натриевой соли — 10%.
10. Раствор хлористого бария ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) — 10%.
11. Раствор азотносеребряной соли (AgNO_3) — 1%.
12. Раствор щавелевоаммониевой соли ($(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) — 1%.
13. Раствор щавелевоаммониевой соли — насыщенный.
- Портланд-цемент. Технические условия — ОСТ 1309.
- Портланд-цемент. Методы механических испытаний — ОСТ 1310.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	
ПОРТЛАНД-ЦЕМЕНТ	
Определение и химический состав	
Технические условия. Отбор проб	
	ОСТ 1309

А. Определение и химический состав

Портланд-цемент есть гидравлическое вяжущее вещество — продукт тонкого перемолва 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.).

Количество глины, прибавляемого к клинкеру при его перемоле для замедления схватывания портланд-цемента, не должно превышать 3% по весу. Кроме того для улучшения качества цемента допускается добавка к клинкеру при его перемоле до 5% гидравлических добавок, применяемых при изготовлении шлаковых и пуццолановых портланд-цементов (без изменения наименования продукта).

Отношение выраженных в процентах весового количества окиси кальция (CaO) к сумме весовых количеств кремнезема, глинозема и окиси железа ($\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$), т. е. значение величины

$$\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3}$$

(«основной» или «гидравлический» модуль), в готовом продукте должно быть не менее 1,7 и не более 2,4.

Количество ангидрида серной кислоты (SO_3) в готовом продукте не должно превышать 2,5%, а количество окиси магния (MgO) — 5%. Потеря при прокалывании не должна быть более 4%.

Б. Классификация

(По механической прочности)

В зависимости от механической прочности портланд-цемент делится на три марки: портланд-цемент О (обыкновенный), ОО (повышенный) и ООО (высокосортный).

Примечание. Данный стандарт в части технических условий и отбора проб не распространяется на высокосортный портланд-цемент (высокосортный портланд-цемент. ОСТ 2832.)

В. Технические условия

а) Удельный вес. Величина удельного веса не нормируется.

Примечание. По требованию заказчика завод обязан предоставлять средние данные об удельном весе выпускаемого портланд-цемента.

б) Сроки схватывания. Начало схватывания должно наступать не ранее 20 мин,¹ а конец схватывания не позднее 12 час. от начала затворения.

Примечание. По соглашению между поставщиком и потребителем допускаются и иные сроки схватывания.

в) Равномерность изменения объема (прежнее обозначение — «постоянство объема»). Портланд-цемент должен обнаружить равномерность изменения объема при испытании в воде, а также при горячих пробах.

г) Тонкость помола. Остаток на сите в 900 отверстий на 1 см² не должен быть более 2% (от навески). Через сито в 4900 отверстий на 1 см² должно проходить не менее 75% (от навески).

д) Временное сопротивление на растяжение. Портланд-цемент должен показать временное сопротивление растяжению не ниже следующих величин, выраженных в килограммах на квадратный сантиметр.

Название цемента (марка)	Чистый портланд-цемент 1:0			Раствор с нормальным песком 1:3		
	через 4 дня ¹	через 7 дней	через 28 дней	через 4 дня ¹	через 7 дней	через 28 дней
Портланд-цемент ОО (повышенный) . . .	25	30	45	12	16	25
Портланд-цемент О (обыкновенный) . . .	20	25	35	10	12	16

¹ Четырехдневные испытания необязательны. В случае неудовлетворительного результата ускоренной пробы решающим считаются 7-дневные и 28-дневные испытания; в случае удовлетворительного результата ускоренной пробы и соответствия портланд-цемента всем остальным условиям стандарта, портланд-цемент может быть принят без 7-дневных и 28-дневных испытаний.

е) Временное сопротивление сжатию. Раствор с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен показать временное сопротивление сжатию не ниже следующих величин, выраженных в килограммах на квадратный сантиметр.

Название цемента (марка)	Через 4 дня ²	Через 7 дней	Через 28 дней
Портланд-цемент ОО (повышенный) . .	120	180	275
Портланд-цемент О (обыкновенный) . .	70	100	160

Г. Отбор проб и общие указания по приемке

а) Поставка, заключающая более 3000 бочек, делится на партии по 3000 бочек причем остаток менее 3000 бочек считается также полной партией. Из каждой пар-

¹ По новому стандарту ОСТ 5036 начало схватывания установлено 30 минут.

² См. предыдущую сноску.

тии по указанию приемщика берут 9 бочек и из каждой избранной бочки, из средней ее части, отбирают 5 кг цемента. При поставке менее 8000 бочек вся поставка составляет одну партию, причем число проб для испытания должно равняться 9. При поставке менее 500 бочек допускается приемка упрощенным способом, а именно: производится только проба на равномерность изменения объема и принимаются во внимание результаты испытаний заводской лаборатории.

В случае упаковки цемента в мешки или в иную тару, всю поставку разбивают на партии по 500 т каждая. Из каждой партии отбирают 9 проб по 5 кг.

При приемке цемента на заводе отбор проб производится при насышке цемента в тару, причем от каждых 500 т отсыплют 9 раз по 5 кг.

Отобранные для каждой партии 9 проб тщательно смешивают вместе и затем делят на три равные части, из которых одна предназначается для приемщика, другая — для поставщика, третья — для возможных повторных испытаний.

Все пробы должны быть отобраны в присутствии приемщика на заводе, складе поставщика или складе потребителя.

Отбираемые приемщиком бочки или мешки должны помечаться его условным знаком.

Предназначаемые для испытания пробы должны помещаться для каждой партии в отдельную стеклянную или жестяную герметически закрываемую тару и опечатываться печатями приемщика и поставщика.

Примечание. В исключительных случаях допускается для проб деревянная упаковка.

б) Одна проба от каждой партии передается приемщику, вторая поставщику и третья сохраняется в каком-либо месте по соглашению сторон.

в) Для каждой партии производится все испытание для определения свойств, установленных техническими условиями данного стандарта.

г) Химический анализ обязателен один на всю поставку.

д) В случае, если какая-либо партия при испытаниях окажется неудовлетворительной, ее разбивают на полупартии, от каждой полупартии берут пробы как от целой партии, и полученные таким образом две пробы подвергаются всем установленным испытаниям.

В случае повторной неудовлетворительности результатов испытаний бракуется полупартия, давшая неудовлетворительный результат.

Д. Упаковка

а) Бочки должны иметь одинаковый вес: 155 кг нетто (около 165 кг брутто) и 170 кг нетто (около 180 кг брутто).

Бумажные мешки или мешки из ткани должны иметь одинаковый вес — 50 кг нетто.

б) На бочках должны быть обозначены: название завода и объединения, название цемента (марка), номер заводской партии и год изготовления цемента.

в) Убыль от раструски определяется для каждой отдельной поставки соглашением между поставщиком и покупателем в зависимости от размера поставки, но она не должна превышать 2‰.

Примечание. Портланд-цемент может отпускаться заводом по соглашению сторон аналаву в закрытых, соответствующим образом оборудованных вагонах (без тары).

Обязательство поставки портланд-цемента не в бочках должно быть оговорено в договоре поставщика с покупателем.

Методы механических испытаний — ОСТ 1310.

Методы химического анализа — ОСТ 79.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 10 марта 1936 г. как обязательный с 1 октября 1936 г.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ

ПОРТЛАНД-ЦЕМЕНТ

Методы механических испытаний

ОСТ

5157

I. Общие указания

а) Поступающие в лабораторию пробы цемента следует хранить до их испытания в сухом помещении в той таре, в которой они были доставлены. В тех случаях, когда пробы доставляются в подмоченной или поврежденной таре, цемент необходимо пересыпать в металлическую или стеклянную плотно закрывающуюся тару. В рабочем журнале следует отмечать вид и состояние тары, в которой была доставлена проба.

б) Перед производством испытания каждая проба пропускается через сито в 64 отверстия на 1 см²; после просеивания необходимо цемент перемешать.

в) Перед испытанием цемент, песок и воду следует выдерживать в лаборатории до принятия ими постоянной температуры. В рабочем журнале рекомендуется ежедневно отмечать температуру помещений, в которых производится испытание; наиболее подходящей является температура от +15° до +20° С.

г) Вода для испытаний может применяться как дистиллированная, так и из водопровода (питьевая). Отмеривание воды должно производиться по весу или по объему. Сосуд, в который наливают воду, должен тарироваться в смоченном внутри состоянии.

д) Особое внимание должно быть обращено на однообразие и правильность приемов при изготовлении образцов и производстве испытаний и на возможно полную механизацию всех операций (в целях достижения сравнимости результатов).

II. Определение удельного веса

(Факультативное)

а) Определение удельного веса производится в приборе Ле-Шателье-Кандло, который должен быть предварительно выверен.

б) Прибор помещают в стеклянный сосуд с водой так, чтобы вся градуированная часть прибора была погружена в воду. Во избежание всплывания прибор закрепляют в специальном штативе. Необходимо наблюдать, чтобы как при первом, так и при втором отсчетах температура воды в сосуде была одна и та же.

в) Прибор наполняется безводным тяжелым бензином (за наименьшим последним можно брать керосин или бензол) до нижней нулевой черты; что устанавливается по нижнему мениску, и после чего свободная от бензина часть прибора (выше нулевой черты) тщательно протирается тампоном из фильтровальной бумаги.

г) Отвешивают с точностью до 0,01 г 90—100 г цемента, предварительно высушенного в течение 1 часа при 120° С и затем охлажденного в эксикаторе. Через воронку прибора совочком или ложечкой цемент высыплют небольшими равномерными порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не поднимется до черты с делением 20 см³ или с любым другим делением в пределах градуированной части прибора.

д) В случае образования пробок в приборе их проталкивают тонкой проволокой. Перед вторым отсчетом рекомендуется для удаления пузырьков воздуха повернуть несколько раз прибор вокруг его вертикальной оси.

е) Остаток цемента после испытания взвешивают. Разность между обоими взвешиваниями, определяющая количество всыпанного в прибор цемента, деленная на величину вытесненного объема жидкости, выражает удельный вес цемента.

ж) Удельный вес определяется как среднее из двух опытов; точность определения — до 0,02.

Примечание. Обычно удельный вес порланд-цемента находится в пределах от 3,00 до 3,10.

III. Определение нормальной густоты цементного теста

а) Цементным тестом называется смесь цемента с водой без примеси песка.

б) Определение нормальной густоты теста производится помощью прибора Вика, который состоит из цилиндрического металлического стержня, свободно перемещающегося в вертикальном направлении в обжиме станины. Для закрепления стержня на желаемой высоте служит зажимный винт. Стержень снабжен указателем для отсчета его перемещения по шкале, разделенной на миллиметры и прикрепленной к станине. В нижнюю часть стержня вставляется металлический цилиндр (измеритель густоты Тетмайера); диаметр его должен быть проверен и иметь размер 1 см ($\pm 0,01$ см), а поверхность его должна быть гладкой и чистой. Вес стержня вместе с цилиндром должен быть 300 г.

в) Тесто накладывают в коническое эбонитовое или медное кольцо с верхним диаметром 7,5 см ($\pm 0,05$ см) в свету, нижним диаметром 6,5 см ($\pm 0,05$ см) также в свету и высотой 4 см ($\pm 0,05$ см). Под кольцо подкладывают стеклянную пластинку.

г) Перед проведением опыта следует убедиться, свободно ли опускается стержень прибора и хорошо ли работает винт, закрепляющий стержень, а также проверить нулевое показание прибора, приводя измеритель густоты в соприкосновение со стеклянной пластинкой. Перед наполнением тестом кольцо и стеклянную пластинку протирают тряпкой, слегка пропитанной малинным маслом. Подкладывать под кольцо бумагу не следует.

д) Затворение теста может быть произведено или вручную или в смешивающем аппарате.

При затворении вручную отweighивают 400 г цемента и помещают в сферическую металлическую чашку (диаметр чашки 25—30 см, высота 8—10 см), делают в центре углубление и в него вливают 80—120 см³ воды. Тотчас же после этого начинают сначала осторожно перемешивать, а затем энергично растирать тесто, пользуясь для этого лопаткой, округленной настолько, чтобы она хорошо подходила к стенкам чашки, причем растирание должно проводиться попеременно во взаимно перпендикулярных направлениях. Продолжительность перемешивания цемента с водой—5 мин., считая от момента приливания воды.

В качестве смешивающего аппарата может служить мешалка типа Вернера и Пфлейдерера емкостью 0,5 л или иная, ей подобная. В прибор всыпают цемент и вливают отмеренное количество воды, после чего тесто перемешивают в течение 5 мин. со скоростью 60 об/мин.

е) По окончании затворения и по наполнении кольца тестом производят несколько встряхиваний кольца, взяв в руки подложенную под кольцо стеклянную пластинку и слегка ударяя о край стола. После этого поверхность теста выравнивают, срезая избыток смоченным водю ножом в уровень с краями кольца.

ж) Приводят измеритель густоты в соприкосновение с поверхностью теста и закрепляют стержень винтом, после чего быстро освобождают закрепляющий винт и предоставляют показателю густоты свободно погружаться в тесто. Как только стержень перестанет опускаться, о чем судят, наблюдая по шкале за указателем, стержень вновь закрепляют винтом и производят отсчет, который и отмечают в рабочем журнале.

з) Густота считается нормальной, если измеритель густоты не доходит до дна на 5—7 делений.

Примечание 1. Определение нормальной густоты теста производится с точностью до 0,5%.

IV. Определение начала и конца схватывания портланд-цемента

а) По определении нормальной густоты цементного теста, цилиндрок, служивший для ее измерения, заменяют иглой Вика с площадью поперечного сечения 1 мм² ($\pm 0,01$ мм²), диаметром 1,13 мм ($\pm 0,005$ мм), а на верхнюю тарелку стержня добавляют груз до 300 г. Кроме того перед опытом проверяют нулевое показание на шкале, приводя иглу в соприкосновение со стеклянной пластинкой.

б) Перед опусканием в тесто иглу доводят до соприкосновения с поверхностью теста, закрепляют стержень винтом и, освободив затем винт, дают игле свободно погружаться в тесто. Только в начале опыта, пока тесто настолько жидко, что можно опасаться сильного удара иглы о стеклянную пластинку, допускается при погружении иглы слегка ее задерживать, чтобы она не погнулась. Как только тесто загустеет настолько, что опасность повреждения иглы будет исключена, иглу дают свободно опускаться после освобождения винта, и во всяком случае момент начала схватывания должен быть определен при свободном опускании иглы.

в) Иглу погружают в тесто через каждые 5 мин. до определения начала схватывания и через каждые 15 мин. в последующее время, передвигая кольцо после каждого погружения для того, чтобы испытывать тесто, непрочное ранее иглой. После каждого погружения иглу следует вытирать чистой тряпкой или фильтровальной бумагой. Воду, которая может выделиться во время опыта на поверхности теста или из-под кольца, удалять не следует.

г) В рабочем журнале следует отмечать температуру помещения, в котором производятся испытание.

д) За начало схватывания принимается время, протекшее от начала затворения (момента приливания воды) до того момента, когда игла не будет доходить до дна на 0,5 мм. За конец схватывания принимается время от начала затворения до того момента, когда игла будет опускаться в тесто не более как на 1 мм. При определении сроков схватывания кольцо с цементом не должно подвергаться толчкам и перемещению с места на место.

V. Проба на равномерность изменения объема

а) Из теста нормальной густоты, для которого берут 800 г цемента, готовят 6 шариков примерно диаметром в 4 см, которые скатывают на ладони; приготавливают цементные лепешки, для чего эти шарики помещают на стеклянные пластинки, покрытые влажной пропускной бумагой. От постукивания стеклянных пластинок о твердую поверхность шарики распадаются в лепешки, диаметром примерно в 7 см и толщиной в середине примерно около 1 см; затем поверхность лепешек сглаживают мокрым ножом.

б) В таком виде 6 лепешек во влажном пространстве (в ящике с воздухом, насыщенным парами воды) сохраняются 24 часа.

в) Проба в воде. 2 лепешки кладут затем в воду комнатной температуры, где и хранят 27 суток.

г) Проба кипячением. 4 лепешки кладут на 2 полки таганчика, который ставят в водяную баню так, чтобы две лепешки находились в воде, а две другие находились выше уровня воды в водяной бане. Затем воду в бане доводят до кипения и поддерживают таковое в течение 4 час., после чего лепешки охлаждают в водяной бане до следующего дня.

Примечание. Необходимо следить за тем, чтобы нижние лепешки были постоянно в кипящей воде, а верхние — в парах кипящей воды.

д) Цемент признается доброкачественным, если на лепешках, вынутых из воды при пробе кипячением и через 27 дней при пробе в воде, не обнаружится трещин, видимых невооруженным глазом и в лупу, а также каких-либо искривлений.

Примечание. Появляющиеся иногда у средних лепешек волосные трещины (трещины усыхания), не доходящие до краев лепешек, не являются признаком недоброкачественности цемента.

VI. Определение тонкости помола

а) Определение тонкости помола производится в приборе, который состоит из цилиндрической составной коробки, заключающей в себе 2 цилиндра с натянутыми ситами, донышко и крышку; все составные части плотно входят одна в другую. Проволочная ткань, плотно зажатая в круглых металлических обоях, диаметром 10 см и высотой 4 см, отстоит от нижнего края на 1 см.

б) Крупность сит устанавливается: для верхнего — 900 отверстий на 1 см², для нижнего — 4900 отверстий на 1 см². Диаметр проволоки: для верхнего 0,10 мм, для нижнего — 0,05 мм; сторона квадратного отверстия в сите: верхнего — 0,283 мм, нижнего — 0,093 мм. Проволочная ткань должна быть бронзовой, латунной или другого сплава, не намагничивающегося в условиях лабораторной работы.

в) Навеску цемента в 100 г помещают на верхнее сито, вставленное в нижнее сито, которое в свою очередь должно быть вставлено в донышко. Закрыв верхнее сито крышкой, производят отсеивание, встряхивая прибор в наклонном положении и постепенно поворачивая его на полный оборот вокруг вертикальной оси. В конце опыта контрольное просеивание производится на бумагу.

Просеивание считается законченным, когда в течение 1 мин. через сито проходят не более 0,1 г цемента.

г) Тонкость помола выражается в процентах путем взвешивания остатков цемента на ситах в 900 и 4900 отверстий на 1 см².

Примечание. Сита должны быть совершенно сухими и после опыта должны тщательно прочиститься.

VII. Определение нормальной густоты цементного раствора

Цементным раствором называется смесь цемента, песка и воды. Цемент и песок берутся в пропорции 1:3 по весу.

а) Нормальный песок — ОСТ 4928.

б) Нормальная густота раствора

1. Насухо перемешивают вручную в сферической металлической чашке 200 г цемента и 600 г нормального песка в течение 1 мин., затем содержимое чашки вручную же затворяют водой в продолжение 1 мин. После этого раствор переносят в мешалку типа Штейнбрюк-Шмельцера, перемешивание заканчивается после 20 оборотов мешалки. Вместо мешалки типа Штейнбрюк-Шмельцера может быть также применена мешалка Вернер-Пфайдлера емкостью 0,5 л или др.

2. Полученный раствор при помощи совка или ложки переносится в кубическую форму (для нормального образца при испытании на раздавливание) и подвергается

машинному трамбованию на копровом приборе Лахтина со свободно падающей бабой, Клебе и др.

3. За нормальную густоту цементного раствора принимается то количество воды (в процентах от веса сухой массы), при котором во время трамбования кубика вода появляется снизу формы лишь после того, как будет затрещано нормальное количество работы (1 см на 10 г сухой смеси), с отклонением ± 5 ударов. При 800 г сухой смеси, весе бабы в 3 кг и высоте ее падения в 0,5 м вода должна появиться не ранее как после 48-го удара и не позже как после 58-го удара. В рабочем журнале следует отмечать, после скольких ударов появилась вода.

Примечание 1. Количество воды для затворения берется 8—10% от веса сухой смеси. Точности определения 0,25%.

Примечание 2. Временно, впредь до снабжения лабораторий металлическими мешалками допускается затворение вручную в металлической чашке; время перемешивания—5 мин.

VIII. Испытание на разрыв

а) Формы для образцов

1. Формы для теста должны быть разъемные, а для раствора — неразъемные; они делаются из нержавеющей стали достаточно прочно, чтобы не изменяли своих размеров и не раздвигались при уплотнении. Все формы должны быть пронумерованы.

2. Формы должны время от времени выверяться. Размер формы в шейке — $2,22 \times 2,25$ см. Отклонения от этих размеров допускаются только такие, при которых колебания в величине площади расчетного сечения образца не превышают $\pm 2\%$. Если отклонения размеров форм от нормальных больше только что указанного предела, то необходимо при расчете временного сопротивления вводить поправку, для чего на образце, вынутом из такой формы, отмечается тушью номер формы.

3. Формы для теста перед их наполнением протирают изнутри тряпкой, слегка пропитанной машинным маслом. Формы для раствора изнутри не смазываются. Немедленно после освобождения образцов из формы последние должны быть вычищены.

б) Изготовление и хранение образцов из цементного теста

1. Тесто готовится либо вручную либо механическим перемешиванием. Одновременно затворяется тесто на 6 образцов, для чего берут 1000 г цемента и количество воды, отвечающее нормальной густоте теста. Продолжительность перемешивания—5 мин. При перемешивании в мешалке типа Вернер-Пфлейдерера емкостью в 5 л отсчитываются 2000 г цемента, из которых готовятся одновременно 12 образцов.

2. Формы перед их наполнением помещают на мраморную, стеклянную или металлическую доску, покрытую смоченной тонкой бумагой.

3. Тесто распределяют равными частями в 6 или 12 форм и вынимают в них металлической овальной ложкой или ножом. После этого с целью удалить из образца воздух формы встряхивают путем постукивания доской о край стола в течение 2 мин. со скоростью 100—120 встряхиваний в минуту; через каждые полминуты доска поворачивается на 90°. Через 5 мин. после окончания встряхивания избыток теста срезают смоченным водой ножом.

Примечание. В случае прекращения выделения пузырьков встряхивание продолжается еще 1 мин.

4. Первые сутки после изготовления образцы хранятся в формах, не снимаясь с доски, в шкафу или под колпаком, в которых в блюдах находится в достаточном количестве вода. Ни в коем случае нельзя хранить образцы непосредственно на воздухе, не помещая их во влажное пространство.

5. Образцы освобождают от форм через 24 (± 2) часа после затворения. При вынимании образца из форм последние нельзя постукивать о стол или о какой-либо предмет. В тех случаях, когда при освобождении образцов будет замечено, что образцы дали усадку, это обстоятельство должно быть отмечено в рабочем журнале.

6. Вынутые из форм образцы нумеруют (тушью) и тотчас же укладывают в бассейны или ящики с водой для хранения в течение 3, 6 и 27 суток. Воду, в которой хранятся образцы, следует менять еженедельно, причем температура воды должна быть по возможности от $+15$ до $+16^\circ \text{C}$. Температуру воды следует ежедневно отмечать в том же рабочем журнале, в котором отмечается температура помещений,

в конх производятся испытания. Восьмерки хранятся установленными по ребро в один ряд, причем уровень воды должен перекрывать восьмерки приблизительно на 2 см.

в) Изготовление и хранение образцов из раствора 1:3

1. Раствор затворяется одновременно на каждые 6 (или 12) образцов, для чего берут 300 г (или 600 г) цемента, по 900 г (или 1800 г) нормального песка и воды в количестве, отвечающем нормальной густоте раствора. Само затворение производится так же, как и при изготовлении раствора для определения нормальной густоты (см. п. «б», разд. VII).

2. Готовый раствор распределяют равными частями путем отвешивания по 200 г смеси на каждый образец в формы, стоящие на подставке ковра, и уминают ложкой. Трамбование производится с расчетом работы в 1 кгм на 10 г сухой смеси. Вес бабы должен быть 2 кг, высота ее падения 0,25 м; число ударов при этом равняется 40.

3. По окончании трамбования формы с образцами помещают на стеклянные пластики, протертые тряпкой, слегка пропитанной машинным маслом. Свободная поверхность образцов тщательно выравнивается ножом в уровень с верхними гравиями форм. Затем образцы вынимают из форм.

4. Нумерация образцов и хранение их во влажном пространстве и в воде производится в том же порядке, как и для образцов из цементного теста (см. пп. 4—6, подразд. «б» разд. VII).

г) Методы испытаний

1. Испытание на разрыв производится на рычажном приборе Михаэлиса с автоматическим нагружением дробью для образования разрывающего груза. Для нагрузки дробь служат приборы Бертелеми, Михаэлиса, Рихтера и др. Размер дроба должен быть от 2 до 2,5 мм. Скорость истечения дроба должна быть отрегулированной и составлять 100 г (+10 г) в секунду.

2. Перед помещением образца в захваты прибора должны быть проверены опорные призмы, и прибор (без ведерка) должен быть установлен так, чтобы верхняя поверхность верхнего рычага совпадала с имеющейся на приборе чертой. Вес ведерка не должен превышать 25% от величины разрывающего груза; в противном случае прибор должен быть уравновешен вместе с ведерком.

3. Образец, вынутый из воды и обтертый сухой тряпкой, должен быть вставлен в захваты так, чтобы плоские грани его совпадали с плоскими поверхностями верхнего и нижнего захватов. При вкладывании образца в прибор на верхний рычаг помещают в качестве противовеса рейтер и подымают рычаг на такую высоту, чтобы в момент разрыва верхняя поверхность рычага находилась по возможности на высоте черты. Следует обращать внимание на то, чтобы между боковой поверхностью образца и захватами прибора не было зерен песка, а также заусениц на образце.

4. Выравняв образец и подвесив ведерко, снимают с верхнего рычага рейтер и нагружают ведерко дробью. Когда вес дроба вместе с ведерком достигнет разрушающего груза, то образец разорвется, а ведерко, упав на педаль прибора с дробью, тем самым прекратит выпуск дроба.

5. Для определения разрывного усилия (временного сопротивления растяжению) ведерко с находящейся в нем дробью взвешивают с точностью до 10 г. Вес, полученный в килограммах, должен быть умножен на 10, чтобы получить разрывное усилие на 1 см² площади наименьшего поперечного сечения образца по следующему расчету.

Отношение плеч рычагов: нижнего 1:5, верхнего 1:10, общее 1:(5×10)=1:50. Площадь наименьшего поперечного сечения образца (средней части его) равна 5 см² (2,25 см × 2,22 см = 4,995 см²).

На площадь в 5 см² действует сила, в 50 раз большая нагрузки P на длинное плечо верхнего рычага, на 1 см² разрывное усилие будет равно:

$$\frac{P \times 50}{5} = P \times 10.$$

Для получения среднего значения выбирают 4 наибольших из 6 полученных результатов и вычисляют среднее арифметическое с точностью до 0,1 кг/см².

6. При испытании образцов из цементного теста в тех случаях, когда при вынимании образцов из форм была замечена усадка образцов, необходимо измерять размеры шейки образцов, и в случае, если отклонение площади поперечного сечения от нормальной больше $\pm 2\%$, временное сопротивление растяжению рассчитывается на действительную площадь поперечного сечения шейки образца.

Если на образце стоит номер формы (см. п. 2, подразд. «а», разд. VIII), то временное сопротивление рассчитывается на действительную площадь поперечного сечения шейки формы.

Примечание. Испытание на разрыв можно производить также и на машине Амслера-Лафона.

д) Испытание на раздавливание

1. Испытанию на раздавливание подвергаются кубики из нормального раствора 1:3. Формы для кубиков должны иметь размеры $7,07 \times 7,07 \times 7,07$ см, с площадью грани 50 см^2 ($7,07 \times 7,07 = 49,985 \text{ см}^2$). Отклонения от этих размеров допускаются только такие, при которых величина площади расчетного сечения не выходит из пределов $49-51 \text{ см}^2$. В противном случае на кубике отмечается тушью номер формы.

2. Кубики готовят так же, как и для определения нормальной густоты раствора (см. п. 1, подразд. «б», разд. VII). Одновременно затворяется раствор на 2 кубика, для чего берут 40 г цемента, 1200 г нормального песка и количество воды, отвечающее нормальной густоте раствора, или 1200 г цемента и 3600 г нормального песка (при пользовании мешалкой типа Вернер-Пфлейслера на 6 кубиков). Для определения временного сопротивления сжатию должны быть приготовлены 9 кубиков, из которых 3 испытываются через 4 суток, 3—через 7 суток и 3—через 28 после их изготовления.

3. Нумерация кубиков и хранение их во влажном пространстве и в воде—те же, что и для образцов, предназначенных для испытания на разрыв (см. пп. 4—6 подразд. «б», разд. VIII).

4. По истечении 4, 7 и 28 суток от срока затворения раствора образцы должны быть вынуты из воды, обтерты сухой тряпкой и испытаны на рычажном или гидравлическом прессе, применяемом для нормальных испытаний камешных материалов и строительных растворов (например пресса Амслера-Лафона, Шенка, Мартенса и т. п.). Не реже одного раза в год пресс должен проверяться для учета действующих на кубик сжимающих сил.

5. Перед испытанием давящие поверхности пресса должны быть очищены от всякой грязи, песка и т. п. Кубик помещают на нижнюю давящую поверхность так, чтобы основанием служили грани, параллельные направлению трамбования.

6. Временное сопротивление сжатию определяется как частное от деления величины разрушающего груза на площадь грани в квадратных сантиметрах, т. е. на 50. Для получения среднего значения берут среднее арифметическое из двух наибольших результатов.

7. Если на кубике стоит номер формы, то временное сопротивление рассчитывается на действительное поперечное сечение формы.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 30 января 1930 г. как обязательный с 1 октября 1930 г.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ

ПОРТЛАНД-ЦЕМЕНТ
пуццолановый

ОСТ
2640

А. Определение и химический состав

Пуццолановым портланд-цементом называется продукт, получаемый путем совместного перемешивания портланд-цементного клинкера и кислой гидравлической добавки (пуццолана, трасс, трепел, диатом, сиштоф и др.) в количестве более 10%. Весовой процент содержания портланд-цемента в продукте может колебаться в широких пределах в зависимости от состава и свойств добавки.

Химический состав не устанавливается, но завод по требованию потребителя снабжает партию химическим анализом как отдельных составных частей (клинкера и добавки), так и готового продукта.

Б. Технические условия

а) Сроки схватывания. Начало схватывания должно наступать не ранее 20 мин., а конец схватывания—не позднее 12 час. от начала затворения.

Примечание. По соглашению сторон допускаются и иные сроки схватывания.

б) Равномерность изменения объема (прежнее обозначение — «постоянство объема»). Пуццолановый портланд-цемент должен обнаруживать равномерность изменения объема при испытании в воде, а также при горячих пробах.

в) Тонкость помола. Остаток на сите в 900 отверстий на 1 см^2 не должен быть более 2% (от навески). Через сито в 4900 отверстий на 1 см^2 должно проходить не менее 80% (от навески).

г) Временное сопротивление растяжению. Раствор пуццоланового портланд-цемента с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен показать через 7 дней не менее 12 кг/см^2 , а через 28 дней — не менее 16 кг/см^2 .

д) Временное сопротивление сжатию. Раствор пуццоланового портланд-цемента с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен показать через 7 дней не менее 80 кг/см^2 , а через 28 дней — не менее 160 кг/см^2 .

Примечание. 7-дневное испытание считается решающим в отношении приема цемента, если оно обнаружит временное сопротивление растяжению не менее 12 кг/см^2 и временное сопротивление сжатию не менее 80 кг/см^2 , в противном случае испытание должно быть продолжено до 28 дней.

В. Правила приемки

- а) Отбор проб и общие указания по приемке — ОСТ 1309.
- б) Методы механических испытаний — ОСТ 1310.
- в) Химический анализ — ОСТ 79.

Г. Упаковка

а) На бочках или мешках должны быть обозначены: название завода и объединения, название цемента, вес нетто, процентное содержание портланд-цемента и добавки, номер заводской партии, год и месяц изготовления цемента.

б) Убыль от раструски определяется для каждой отдельной поставки соглашением сторон в зависимости от размера поставки, но она не должна превышать 2% .

Примечание. Пуццолановый цемент может отпускаться заводом по соглашению сторон в закрытых, соответствующим образом оборудованных вагонах (без тары).

Обязательство поставки пуццоланового портланд-цемента не в бочках должно быть оговорено в соглашении сторон.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 23 февраля 1931 г. как обязательный с 1 апреля 1931 г.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ

РОМАН-ЦЕМЕНТ

ОСТ
2642

А. Определение и химический состав

Роман-цемент есть продукт тонкого перелома обожженных при температуре, не доводящей материала до спекания, естественных известковых или магнезиальных мергелей или искусственных смесей магнезиальных известняков, или доломитов с глинистыми материалами. Продукт этот после обжига при смачивании водой не гасится (не распадается в порошок); тесто из роман-цемента твердеет в воде.

Количество ангидрида серной кислоты (SO_2) не должно превышать 3% .

Б. Технические условия

а) Сроки схватывания. Начало схватывания должно наступать не ранее 15 мин., а конец схватывания — не позднее 24 час. от начала затворения.

б) Равномерность изменения объема. Роман-цемент через 4 дня твердения на воздухе должен обнаруживать равномерность изменения объема при испытании в воде.

в) Тонкость помола. Остаток на сите в 900 отверстий на 1 см² должен быть не более 15%, от веса пробы.

г) Временное сопротивление растяжению. Раствор роман-цемента с нормальным песком в пропорции 1:5 по весу через 28 дней при твердении на воздухе, насыщенном влажностью, и при комнатной температуре должен показать временное сопротивление растяжению не менее 5 кг/см², а при твердении в воде — не менее 8 кг/см².

д) Временное сопротивление сжатию. Раствор роман-цемента с нормальным песком в пропорции 1:5 по весу через 28 дней при твердении на воздухе, насыщенном влажностью, и при комнатной температуре должен показать временное сопротивление сжатию не менее 15 кг/см² и при твердении в воде — не менее 10 кг/см².

В. Правила приемки

а) Отбор проб и общие указания по приемке

Средняя проба отбирается для каждых 1000 бочек.

При приемке цемента на заводе отбор проб производится при насыпке цемента в тару, причем от каждых 150 т отсыплют 9 раз по 5 кг. Во всем остальном остаются в силе все указания, изложенные в ОСТ 1309 (раздел Г) для портланд-цемента.

б) Методы испытаний

При испытании роман-цемента должны применяться те же методы, что и при испытании портланд-цемента согласно ОСТ 1310, со следующими изменениями и дополнениями в отношении установленных стандартом портланд-цемента методов:

1. Определение нормальной густоты цементного теста. При приготовлении теста вместо 400 г отweighивают 300 г роман-цемента. При этом испытании следует иметь в виду, что количество воды, соответствующее нормальной густоте теста, для роман-цементов различных заводов изменяется обыкновенно в пределах от 30 до 50%.

2. Определение начала и конца схватывания. Для определения начала схватывания иглу опускают в цементное тесто через каждые 2 мин.

3. Определение тонкости помола. Определение тонкости помола производится в приборе, состоящем из одного нормального сита в 900 отверстий на 1 см².

4. Определение нормальной густоты цементного раствора с нормальным песком. Испытание роман-цемента с песком производится в пропорции 1:5 по весу. Нормальный песок применяется тот же, что и при испытании портланд-цемента.

При приготовлении раствора для определения нормальной густоты отweighивают 130 г роман-цемента и 650 г песка.

5. Испытание на разрыв и сжатие. Для изготовления 6 восьмерок берутся 200 г роман-цемента и 1000 г песка.

Для изготовления одного кубика берутся 130 г роман-цемента и 650 г песка.

Образцы (восьмерки и кубики), предназначенные для хранения на воздухе, по истечении суток устанавливаются в расстоянии один от другого не меньшем толщины образца в помещении, имеющем температуру от 15 до 18° С и относительную влажность от 70 до 80%, при свободном доступе воздуха, где образцы и остаются до их испытаний; образцы же, подлежащие хранению в воде, остаются на воздухе при тех же условиях в течение 4 суток, после чего они погружаются в воду.

Методы механических испытаний — ОСТ 1310.

Методы химического анализа — ОСТ 79.

Г. Упаковка

а) Роман-цемент упаковывается в бочки, бумажные мешки или мешки из ткани.

б) На таре должны быть обозначены: название цемента, название завода и объединения, номер заводской партии, год и месяц изготовления и вес нетто цемента.

в) Удель от распуска определяется для каждой отдельной поставки соглашением сторон в зависимости от размера поставки, но она не должна превышать 2%.

Примечание. Роман-цемент может отпускаться заводом по соглашению сторон внавалку в закрытых, соответствующим образом оборудованных вагонах (в тарах).

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ

ШЛАКО-ПОРТЛАНД-ЦЕМЕНТ

ОСТ

2641

А. Определение и химический состав

а) Шлако-портланд-цемент есть продукт, получаемый путем совместного перемола портланд-цементного клинкера и основного гранулированного доменного шлака поддежащего состава. Весовое содержание шлака в зависимости от его свойства в готовом продукте не должно превышать 85%.

б) В составе основного доменного шлака, получаемого при плавке чугуна на минеральном топливе, весовое отношение суммы $\text{CaO} + \text{MgO}$ к сумме растворимой кремнекислоты (SiO_2) и окиси алюминия (Al_2O_3) должно быть не менее единицы.

в) Количество гипса, прибавляемого к клинкеру и шлаку при их перемолу для замедления схватывания шлако-портланд-цемента, не должно превышать 8%.

г) Количество ангидрида серной кислоты (SO_3) и окиси магния (MgO) в готовом продукте не должно превышать 5% каждого.

Процентное содержание закиси марганца (MnO) в готовом продукте не должно превышать величины, определяемой в процентах по формуле:

$$X = 5 \times \frac{a}{100}$$

где a — процентное содержание шлака в шлако-портланд-цементе.

Б. Технические условия

а) Сроки схватывания. Начало схватывания должно наступать не ранее 20 мин., а конец схватывания — не позднее 12 час. от начала затворения.

Примечание. По соглашению сторон допускаются и иные сроки схватывания.

б) Равномерность изменения объема (прежнее обозначение — «постоянство объема»). Шлако-портланд-цемент должен обнаруживать равномерность изменения объема при испытании в воде, а также при горячих пробах.

в) Тонкость помола. Остаток на сите в 900 отверстий на 1 см^2 не должен быть более 2% от навески. Через сито 4900 отверстий на 1 см^2 должно проходить не менее 80% от навески.

г) Временное сопротивление растяжению. Раствор шлако-портланд-цемента с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен показать через 7 дней не менее 12 кг/см^2 , а через 28 дней — не менее 16 кг/см^2 .

д) Временное сопротивление сжатию. Раствор с нормальным песком в пропорции 1:3 по весу должен показать через 7 дней не менее 80 кг/см^2 , а через 28 дней — не менее 160 кг/см^2 .

Примечание. 7-дневное испытание считается решающим в отношении приемки цемента, если оно обнаружит временное сопротивление растяжению не менее 12 кг/см^2 и временное сопротивление сжатию не менее 80 кг/см^2 , в противном случае испытание должно быть продолжено до 28 дней.

В. Правила приемки

а) Отбор проб и общие указания — ОСТ 1809.

б) Методы механических испытаний — ОСТ 1810.

в) Химический анализ — ОСТ. 79.

Г. Ушаков

а) Бочки должны иметь одинаковый вес: 155 кг нетто (около 165 кг брутто) и 170 кг нетто (около 180 кг брутто). Бумажные мешки или мешки из ткани должны иметь одинаковый вес — 50 кг нетто.

б) На бочках должны быть обозначены: название завода и объединения, название цемента, процентное содержание портланд-цемента и шлака, номер заводской партии, год и месяц изготовления шлако-портланд-цемента.

в) Убыль от раструски определяется для каждой отдельной поставки соглашением между сторонами в зависимости от размера поставки, но она не должна превышать 2%.

Примечание. Шлако-портланд-цемент может спускаться заводом по соглашению сторон в вагонах и закрытых, соответствующим образом оборудованных вагонах (без тары).

Обязательство поставки шлако-портланд-цемента на бочках должно быть оговорено в соглашении сторон.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ
ГРАВИЙ ДЛЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ	3327

А. Определение

Гравием для бетонных и железобетонных работ называется рыхлая горная порода изверженного или осадочного (вторичного) происхождения, не имеющая следов выветривания и состоящая из зерен крупностью от 5 до 80 мм¹.

В. Классификация

а) По происхождению гравий разделяется на:

- 1) карьерный,
- 2) овражный,
- 3) речной,
- 4) морской.

б) По крупности зерен гравий разделяется на:

- 1) рядовой от 5 до 80 мм
- 2) мелкий » 5 » 20 »
- 3) средний » 40 » 40 »
- 4) крупный » 20 » 80 »

В. Технические условия

а) Механическая прочность.

Временное сопротивление на сжатие тех пород, из которых образовался гравий, должно быть не меньше 300 кг/см².

Примечание. Гравий из пород с временным сопротивлением на сжатие меньше 300 кг/см² допускается для бетонных и железобетонных сооружений, если приготовленный из него бетон покажет временное сопротивление сжатию не ниже требуемого для данного возраста бетона.

б) Гранулометрический состав

1. При просеивании через набор сит должно проходить гравия в процентах по весу.

Размер отверстия в сите	От	До
d_{max}	95	100
$\frac{1}{3} d_{max}$	40	70
5 мм	0	10

¹ Стандарт на гравий или камень крупнее 80 мм, называемый иногда «цехом», будет дан дополнительно.

Примечание. Под *дым* подразумевается размер отверстия в сите того наименования сита, через которое проходит не менее 95% гравия по весу от полной нагрузки.

2. Модуль крупности гравия должен быть не меньше 6,0.

в) Чистота

1. Содержание примесей с частицами от 0 до 0,05 мм допускается не более 1% по весу.

Примечание. Обычно примеси с частицами от 0 до 0,05 мм являются глиной, а с частицами от 0,05 до 0,08 мм — пылью. Зерна крупнее 0,05 мм, проходящие через сито с отверстиями 0,15 мм, называются песком.

2. Содержание вредных органических примесей допускается в количестве, при котором гравий, будучи обработан по методу окрашивания, давал бы оттенок не темнее цвета эталона или при механическом испытании бетона получались бы результаты не ниже требуемых.

г) Морозостойкость (сопротивление выветриванию)

Насыщенный водой гравий должен выдерживать 15-кратное замораживание до -10°C с последующим оттаиванием без разрушения.

Примечание. Морозостойкость устанавливается лишь для гравия, предназначенного для частей сооружений, могущих подвергаться действию мороза.

Г. Правила приемки

а) Приемка гравия.

1. Приемка гравия, как правило, производится по объему. Допускается по соглашению сторон приемка по весу.

2. Обмер в освидетельствование гравия производится, как правило, в штабелях на месте доставки, но могут производиться по соглашению сторон в вагонах, судах, автомобилях и других транспортных приспособлениях с установленным объемом в любом пункте.

3. При поставке гравия в штабелях они выставляются на выровненных площадках и опираются в усеченные пирамиды произвольного размера, на практике иногда называемые призмами, с высотой не меньше 0,7 м, или в конусы (при объеме от 1 до 5 м³).

4. При приемке гравия в вагонах или автомобилях измеряется высота слоя, а ширина и длина слоя определяются внутренними размерами вагона или автомобиля.

5. В случае доставки гравия водными путями он может приниматься в судне. Для этого судно должно иметь надлежащим образом оформленный паспорт с указанием кубатуры, соответствующей грузоподъемности судна, и ясно отмеченную границу на внутренней обшивке, до которой должен быть насыпан гравий. В случае недогрузки недостаток гравия определяется подсчетом кубатуры; при этом площадь гравия считается по верхнему очертанию судна, указанному в паспорте, а недостающая высота измеряется в натуре.

6. В случае приемки гравия в иных транспортных приспособлениях, объем его определяется до заранее установленному объему транспортных приспособлений, фиксированному надписью или клеймом.

7. При приемке гравия по весу переводный коэффициент с веса на объем устанавливается соглашением сторон.

б) Отбор проб

От каждой партии гравия в 100 м³ из нескольких мест (не менее 8—4) по указанной приемки отбирается проба в 20—30 кг. Отобранные пробы перемешиваются лопатой на брезенте или деревянном помосте и рассыпаются слоем толщиной 7—10 см. Рассыпанный таким образом гравий делится по двум перпендикулярным направлениям на четыре части, из которых две противоположные удаляются, а оставшиеся две вновь перемешиваются, делится на четыре части, из которых две противоположные удаляются, а другие две опять перемешиваются и т. д.

Так поступают до тех пор, пока не останется материала в количестве 20—30 кг, который и считается средней пробой.

Д. Методы испытаний

а) Определение гранулометрического состава и модуля крупности

1. Для определения гранулометрического состава гравия и его модуля крупности

используются 10 ситами с квадратными и круглыми отверстиями, размеры которых следующие.

	Форма отверстий									
	квадратные					круглые				
Номера сит . .	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Отверстия в миллиметрах .	0,15	0,30	0,60	1,20	2,5	5,0	10,0	20,0	40,0	80,0

Для просеивания от средней пробы берут 10 кг гравия, предварительно высушенного до постоянного веса при температуре до 110°C и просеянного через сито № 1 в 80 мм.

Затем просеивают 10 кг через 9 сит, начиная с самого крупного (№ 2) до самого мелкого (№ 10); тот гравий, который прошел через сито № 2, просеивается через сито № 3; тот, который прошел через № 3, просеивают через № 4 и т. д. Остаток, не прошедший через сито № 2, в процентах по весу ко всей навеске в 10 кг обозначается через a_2 ; остаток гравия, не прошедший через сито № 3, в процентах по весу ко всей навеске обозначается через a_3 и т. д.

2. Гранулометрический состав представляет собою характеристику крупности гравия, которая определяется как перечень полных остатков тех количеств гравия, которые не прошли через каждое из 10 сит. Таким образом полный остаток гравия в процентах по весу, не прошедший через сито № 1, будет нуль, через сито № 2— a_2 ; через сито № 3 ($a_2 + a_3$), через сито № 4 ($a_2 + a_3 + a_4$) и т. д.

3. Модуль крупности определяется по формуле:

$$M = \frac{9a_2 + 8a_3 + 7a_4 + 6a_5 + 5a_6 + 4a_7 + 3a_8 + 2a_9 + 1a_{10}}{100}$$

где M —модуль крупности; $a_2, a_3, \dots, a_{10}$ —остатки в процентах по весу от всей навески на ситах № 2, 3, ..., 10.

6) Определение содержания частиц меньше 0,05 мм (глина плюс пылевидные частицы)

Средняя проба сухого гравия в количестве 3 кг помещается в сосуд емкостью около 5 л. Затем в сосуд вливается вода и гравий тщательно перемешивается. Дав осесть крупным тяжелым частицам гравия, воду со взвешенной в ней мутой осторожно сливают через край сосуда. Затем сосуд вновь наполняют чистой водой, гравий перемешивается, и после того, как он осел, снова сливают через край мутную воду. Эта операция повторяется до тех пор, пока после заливки гравия водой и перемешивания вода не окажется чистой и прозрачной. После этого вода осторожно выливается из сосуда; затем гравий высушивается до постоянного веса при температуре до 110°C и взвешивается.

Потера в весе в процентах при отмучивании определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{3000 - a}{30}$$

где Π —процент потери при отмучивании, a —вес в граммах чистого гравия после отмучивания.

в) Определение загрязнения органическими примесями

Степень загрязнения гравия органическими примесями определяется методом окрашивания, являющимся необходимым, но недостаточным для окончательного суждения о пригодности гравия.

Мензурку емкостью 250 см³ наполняют до уровня в 130 см³ воздушно-сухим гравием и доливают затем до уровня в 200 см³ 8%-ным раствором едкого натра. После энергичного встряхивания пробу оставляют в покое на 24 часа. По истечении указанного срока определяют цвет жидкости над гравием, сравнивая его с цветом свежеприготовленного эталона, изготовленного указанным ниже способом и налитого в сосуд той же формы и величины, как и проба испытуемого гравия.

В сомнительных случаях испытуемую пробу рекомендуют подогреть в течение 2—3 час. в водяной бане и вновь сравнить ее с эталоном.

Гравий признается годным для бетонных работ, если цвет раствора не будет темнее цвета эталона.

Эталон готовится следующим образом: 2%-ый раствор танина готовится в 1%-ном растворе алкоголя. Изготовленный таким образом раствор берется в количестве 2,5 см³ на 97,5 см³ 3%-ного раствора едкого натра. Полученная смесь разбалтывается и оставляется в покое на 24 часа.

В случае неудовлетворительности результатов испытания чистоты гравия способом окрашивания необходимо произвести механическое испытание нем этного раствора с испытуемым гравием. Образцы с испытуемым гравием должны дать через 4, 7 и 28 дней сопротивления на сжатие не ниже образцов из того же нем этного раствора с любым чистым гравием. Кубики должны иметь размеры 20 × 20 × 20 см.

г) Определение морозостойкости (сопротивление выветриванию)

Из средней пробы берут 1—2 кг гравия (в зависимости от крупности зерен), насыщенный в течение 4 суток водой. Гравий замораживают при температуре 10° С в течение 3 час., после чего гравий оттаивают в воде при комнатной температуре в течение 3 час. Повторное замораживание и оттаивание производится 15 раз. После каждого замораживания и оттаивания освидетельствуют гравий с целью установления явлений разрушения.

Примечание. Ускоренная проба производится следующим образом: средняя проба гравия весом около 1 кг, состоящая примерно из 30 отдельных зерен, помещается на 20 час. в насыщенный раствор сернокислого натра (Na₂SO₄) при температуре 21° С. Потом гравий вынимают и помещают на 4 часа в сушильный шкаф при температуре 160° С. Затем гравий вынимается, охлаждается на воздухе примерно до температуры раствора и вновь погружается в него на 20 час. Так поступают 3 раз. Образцы, которые при этом испытании обнаруживают заметные разрушения, должны быть признаны сомнительными в отношении выветриваемости.

д) Испытание прочности зерен гравия

Испытание производится следующим образом:

1. На цементном растворе с временным сопротивлением в 800 кг/см² делаются бетонные кубики размером на 20 × 20 × 20 см из испытуемого гравия. После соответствующего хранения в течение времени, обеспечивающего прочность раствора в 800 кг/см², кубики раздавливаются, временное сопротивление их должно быть не меньше 800 кг/см².

2. (Факультативно). Среднюю пробу гравия весом около 1 кг просеиванием разделяют по крупности на три фракции:

1-я с размерами частиц от 5 до 10 мм (исключительно)

2-я » » » 10 » 20 » »

3-я » » » 20 и больше.

Каждая частица из всех трех фракций подвергается статическому давлению следующей нагрузкой:

зерна 1-й фракции	16 кг
» 2-й »	27 »
» 3-й »	34 »

Раздавливание может быть произведено при помощи неравноплечего рычага; образцы должны помещаться между двумя железными или стальными пластинками толщиной не меньше 5 мм.

Те частицы, которые будут раздавлены при этом опыте, считаются недостаточно прочными.

Процентное отношение их количества к взятой пробе (по весу) не должно превышать 5%.

Примечание. Явно выветрившиеся частицы не должны входить в пробу.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Госплане СССР 6 июля 1931 г. как обязательный с 15 августа 1931 г.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ

ПЕСОК ДЛЯ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ

ОСТ
3328

А. Определение

Песком для бетонных и железобетонных работ называется природная смесь зерен кварцевых или других изверженных пород или искусственная, получаемая измельчением этих же пород, проходящая через сито с круглыми отверстиями в 5 мм.

Б. Классификация

По происхождению естественные пески подразделяются на морские, речные, озерные и карьерные.

В. Технические условия

а) Модуль крупности

Модуль крупности песка должен быть не менее 2,0.

б) Чистота

1. Содержание примесей с величиной частиц от 0 до 0,05 мм должно быть не больше 5%, по весу, при этом примесей с частицами от 0 до 0,005 мм должно быть не больше 2%, по весу.

Примечание. Обычно примеси с частицами от 0 до 0,005 мм называются глиной, а с частицами от 0,005 до 0,05 — пылью. Зерна крупнее 0,05 мм, проходящие через сито с отверстиями 0,15 мм, называются песком.

2. Содержание вредных органических примесей допускается в количестве, при котором песок, будучи обработан по методу окрашивания, давал бы оттенок не темнее цвета эталона или при испытании с цементом (раствор) согласно ОСТ 1809 и 1810 давал бы механическую прочность (на сжатие и растяжение) не ниже прочности того же цемента с нормальным вольским песком.

в) Гранулометрический состав

При просеивании через набор сит с квадратными и круглыми отверстиями желательно, чтобы песок проходил через сита, указанные в табл. 1 в процентах по весу:

Таблица 1

Размер отверстий сита в свету мм	От	До
5	85	100
1,2	45	80
0,3	5	30
0,15	0	5

Г. Правила приемки

а) Обмер и освидетельствование

1. Приемка песка, как правило, производится по объему сухого песка. Допускается по соглашению сторон приемка по весу с учетом влажности.

2. Обмер и освидетельствование песка производится, как правило, в штабелях на месте доставки, но могут производиться по соглашению сторон в вагонах, судах, автомобилях и других транспортных приспособлениях с установленным объемом в любом пункте.

3. При поставке песка в штабелях обмер производится не ранее как по прошествии 8 дней после их поставки, т. е. после осадки песка.

4. При поставке песка в штабелях они выставляются на выровненных площадках и оправляются в усеченные пирамиды произвольного размера, на практике иногда называемые призмами, с высотой не меньше 0,7 м или в прямые или усеченные конуса (при объеме от 1 до 5 м³).

5. При приемке песка в вагонах или автомобилях измеряется высота насыпанного слоя, а ширина и длина слоя определяются внутренними размерами вагона или автомобиля.

6. В случае доставки песка водными путями он может приниматься в сухие. Для этого судно должно иметь надлежащим образом оформленный паспорт с указанием кубатуры, соответствующей грузоподъемности судна и ясно отмеченной границей на внутренней обшивке судна, до которой должен быть насыпан песок. В случае недостатка песка определяется подсчетом кубатуры; при этом площадь песка принимается по верхнему очертанию судна, указанному в паспорте, а недостающая высота измеряется в натуре.

7. В случае приемки песка в иных транспортных приспособлениях объем его определяется по заранее установленному объему транспортных приспособлений, фиксированному надписью или клеймом.

8. Объем принимаемого сухого песка относится к нулевой влажности. При приемке песка в штабелях (см. разд. I, п. а/2) и при влажности, большей нуля, делается скидка по табл. 2.

Примечание. При промежуточной влажности скидка берется согласно табл. 2 по интерполяции.

Таблица 2

9. Скидка на влажность при приемке в транспортных приспособлениях (вагонах, автомобилях, судах и пр.) производится в зависимости от уплотнения и осадки песка по соглашению сторон.

10. При приемке песка по весу переводный коэффициент с веса на объем устанавливается соглашением сторон с обязательным учетом влажности.

11. При зимних поставках песка вводится поправка на присутствие льда и снега, процентное содержание которых определяется опытом. Средняя скидка может быть принята в 15%.

Влажность песка по весу %	Скидка с замеренного объема %
1	8
2	18
3	25
5	27
10	24
15	8

б) Отбор проб

Для отбора проб поставленный песок делится на партии по 100 м³ или соответственно такому же объему при приемке по весу. Из нескольких (не менее 3—4) мест каждой партии отбираются пробы в количестве 25 кг каждая. Отобранные пробы перемешиваются лопатой на брезенте и рассыпаются слоем толщиной 7—10 см.

Рассыпанный таким образом материал делится по двум вза имно перпендикулярным направлениям на четыре части, из которых две противоположные удаляются, а две оставшиеся перемешиваются вновь, делятся на четыре части, из которых две противоположные удаляются, а другие две опять перемешиваются и т. д.

Так поступают до тех пор, пока песка останется в количестве около 3 кг, которые и являются средней пробой.

Д. Методы испытаний

а) Определение гранулометрического состава и модуля крупности

1. Для определения гранулометрического состава песка и его модуля крупности песок просеивают через 6 сит с отверстиями, размеры которых следующие.

Таблица 3

	Форма отверстий					
	квадратные			круглые		
Номера сит	10	9	8	7	6	5
Отверстия в мм	0,15	0,30	0,60	1,20	2,5	5,0

Для просеивания берут из средней пробы 1 кг песка, предварительно высушенного до постоянного веса при температуре до 110° С. Затем просеивают его через все 6 сит, начиная с самого крупного (№ 5) до самого мелкого (№ 10). Тот песок, который прошел через сито № 5, просеивается через сито № 6; тот, который прошел через сито № 6, просеивается через сито № 7 и т. д. Песок, оставшийся на сите № 5, в процентах по весу ко всей навеске в 1 кг обозначается через a_5 ; песок, оставшийся на сите № 6, в процентах по весу ко всей навеске обозначается через a_6 , и т. д.

2. Гранулометрический состав представляет собою характеристику крупности песка,

которая определяется как перечень полных остатков тех количеств песка в процентах по весу, которые не прошли через каждое из 6 сит.

Таким образом полный остаток песка в процентах по весу, не прошедший через сито № 6, будет a_6 ; полный остаток, не прошедший через сито № 6, будет $(a_6 + a_7)$; через сито № 7 $(a_6 + a_7 + a_8)$ и т. д.

8. Модуль крупности определяется по формуле:

$$M = \frac{6a_6 + 5a_7 + 4a_8 + 3a_9 + 2a_{10} + a_{11}}{100},$$

где M — модуль крупности, $a_6, a_7, a_8, \dots, a_{11}$ — остатки в процентах по весу ко всей навеске в 1 кг на ситах № 6, 7, 8, 9, 10, 11. Часть песка, прошедшая через сито № 10 с отверстием в 0,15 мм, в подсчет модуля не входит.

6) Определение содержания частиц меньше 0,05 мм (глина или пылевидные частицы)

Средняя проба сухого песка в количестве 1 кг помещается в 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 сосуда, затем сосуд вновь наполняют чистой водой, песок перемешивается, и, после того как песок осел, снова сливают через край мутную воду. Эта операция повторяется до тех пор, пока после заливки песка водой и перемешивания вода не окажется чистой и прозрачной. После этого вода осторожно выливается из сосуда. Затем из песка удаляется влага высушиванием до постоянного веса при температуре не выше 110°C , и песок взвешивается.

Потеря в весе (в процентах) при отмучивании определяется по формуле:

$$П = \frac{1000 - a}{10},$$

где $П$ — процент потери при отмучивании, a — вес в граммах чистого песка после отмучивания.

в) Определение содержания частиц меньше 0,005 мм (глина)

Определение производится следующим образом:

1. В мензурку емкостью в 25 см³ при постоянном ее постукивании всыпается 10 см³ сухого песка. Затем песок заливается водой до уровня 23 см³, после чего до уровня в 25 см³ добавляется 5%-ный раствор хлористого кальция (для осаждения мути). Смесь взбалтывается и оставляется в покое на 3 часа, после чего производится определение разбухания частиц меньше 0,005 мм (глины) в процентах.

Количество содержащихся в песке частиц меньше 0,005 мм (глины) в процентах по весу определяется по формуле $А = 0,5 V$, где V — приращение объема песка, выраженный в процентах от первоначального объема.

2. Отсутствие зерен песка, покрытых оболочками глины, распознается следующим образом.

Из средней пробы, количество механических примесей которой не превышает 5%, по весу, отбирается некоторое количество зерен. Зерна кладутся на лист белой бумаги и рассматриваются под лупой.

Полная прозрачность зерен свидетельствует об отсутствии у них глинистых оболочек.

г) Определение загрязнения органическими примесями

Степень загрязнения песка органическими примесями определяется методом окрашивания, являющимся необходимым, но недостаточным для окончательного суждения о пригодности песка.

Мензурку емкостью 250 см³ наполняют до уровня в 180 см³ воздушно-сухим песком и доливают затем до уровня 200 см³ 8%-ным раствором едкого натра. После энергичного встряхивания пробу оставляют в покое на 24 часа. По истечении указанного срока определяют цвет жидкости над песком, сравнивая его с цветом свежеприготовленного эталона, изготовленного указанным ниже способом и налитого в сосуд той же формы и величины, как и проба испытуемого песка.

В сомнительных случаях испытуемую пробу рекомендуется подогреть в течение 2—3 час. в водяной бане и вновь сравнить ее с эталоном.

Песок признается годным для бетонных работ, если цвет раствора не будет темнее цвета эталона.

Оталок готовится следующим образом: 2%-ный раствор танина готовится в 1%-ном растворе алкоголя. Готовленный таким образом раствор берется в количестве 2,5 см³ на 97,5 см³ 3%-ного раствора едкого натра. Получаемая смесь выбалтывается и оставляется в покое на 24 часа.

В случае неудовлетворительности результатов испытания чистоты песка способом окрашивания необходимо произвести механическое испытание цемента с испытуемым песком. Образцы с испытуемым песком должны дать через 4, 7 и 28 дней сопротивление на растяжение и на сжатие не ниже образцов из того же цемента с нормальным песком. Испытание производится согласно ОСТ 1309 и 1310.

В случае неудовлетворительности результатов рекомендуется произвести повторное исследование с испытуемым песком, подвергнутым промывке известковым молоком.

ж) Вес песка и количество пустот

Вес песка и количество пустот в нем можно определить нижеуказанными методами (факультативно).

1. Объемный вес. Песок, высушенный до постоянного веса при температуре до 110° С, насыпается с высоты 5 см совком в мерный сосуд объемом в 2 л; избыток песка срезается вровень с краями линейкой. Полученный вес 1 л песка и будет его объемным весом.

2. Удельный вес. Удельный вес песка определяется посредством прибора Лешатель-Кандло по методу, предложенному в ОСТ 1310.

3. Объем пустот сухого песка в рыхлом состоянии в процентах определяется по формуле:

$$V = \left(1 - \frac{\text{объемный вес}}{\text{удельный вес}} \right) \times 100.$$

4. Для сравнения между собою качества различных песков, можно пользоваться коэффициентом ниж. Скрамтава:

$$K = M(50 - V),$$

где M — модуль крупности, V — объем пустот в процентах сухого песка в рыхлом состоянии. Песок тем лучше, чем выше значения K , нижний предел которого должен быть не меньше 15.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Госплане СССР 6 июля 1931 г. как обязательный с 15 августа 1931 г.

ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ		ОСТ
ЩЕБЕНЬ ДЛЯ БЕТОННЫХ и ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАБОТ		3329

А. Определение

Щебнем для бетонных и железобетонных работ называется измельченная горная порода или измельченный камень из обожженной глины с крупностью зерен от 5 до 80 мм.

В. Классификация

а) По способу получения щебень разделяется на:

- 1) Естественный — из каменных осыпей (хрищ).
- 2) Искусственный — получаемый путем ручной или машинной бойки.

б) По крупности зерен щебень разделяется на:

- 1) Рядовой от 5 до 80 мм
- 2) Мелкий > 5 > 20 >
- 3) Средний > 20 > 40 >
- 4) Крупный > 40 > 80 >

¹ Стандарт на щебень крупнее 80 мм, называемый иногда «песком», будет дан дополнительно.

В. Технические условия

а) Механическая прочность

Временное сопротивление на сжатие тех естественных пород, из которых получился щебень, должно быть не меньше 300 кг/см^2 .

Примечание. Щебень из пород прочностью меньше 300 кг/см^2 , а также щебень из обожженной глины допускается для бетонных и железобетонных сооружений, не требующих морозостойкости, лишь по установлению прочности бетонов с применением такого щебня.

б) Гранулометрический состав

1. При просеивании через набор сит должно проходить щебня в процентах по весу:

Размер отверстия в свету	От	До
d_{max}	95	100
$\frac{1}{2} d_{\text{max}}$	40	70
5 мм	0	10

Примечание. Под d_{max} разумеется размер отверстия в свету того наименьшего сита, через которое проходит не менее 95% щебня по весу от взятой навески.

2. Модуль крупности щебня не меньше 6,0.

в) Содержание выветрившихся щебенки

Допускается не более 2% по весу для бетона ответственных частей сооружений и не более 5% по весу для бетона прочих частей сооружений.

г) Чистота

1. Содержание глинистых, илстых и тому подобных примесей допускается не более 1% по весу.

2. Содержание вредных органических примесей допускается в количестве, при котором щебень, будучи обработан по методу окрашивания, давал бы оттенок не темнее цвета эталона или при механическом испытании в бетоне получались бы результаты не меньше требуемых.

д) Морозостойкость (сопротивление выветриванию)

Насыщенный водой щебень должен выдержать 15-кратное замораживание до -10°C с последующим оттаиванием без разрушения.

Примечание. Морозостойкость устанавливается лишь для щебня, предназначенного для частей сооружений, могущих подвергнуться действию мороза.

Г. Правила приемки

Правила приемки щебня аналогичны таковым же правилам на гравий (ОСТ 3327).

Д. Методы испытаний

Методы испытаний щебня аналогичны таковым же методам на гравий (ОСТ 3327).

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Госплане СССР 6 июля 1931 как обязательный с 13 августа 1931 г.

СССР Совет труда и обороны Комитет по стандартизации	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ 800
	ЩЕБЕНЬ СТРОИТЕЛЬНЫЙ	МБИ (1.1.В.) 691. 2
	пемзовый¹	

А. Определение

Щебень строительный пемзовый представляет собой куски пемзы размером 5—65 мм, получаемые как непосредственно из мест естественного залегания (без дробления), так и путем дробления кусковой крупной пемзы.

Б. Классификация

Щебень строительный пемзовый в зависимости от веса и степени засоренности делится на три категории: первую, вторую и третью.

В. Технические условия

- а) **Крупность.** При просеивании сквозь сита с диаметром отверстий в 5 мм не должно быть более 5% просева (по весу).
- б) **Объемный вес.** Вес 1 м³ пемзового строительного щебня после просушки его до постоянного веса не должен превышать:

для первой категории	400 кг
» второй	500 »
» третьей	600 »

- в) **Чистота.** Посторонних примесей допускается:

для первой категории от веса	3%
» второй	5%
» третьей	10%

Г. Правила приемки

- а) **Отбор проб и общие указания**

1. Место приемки и порядок складывания щебня для приемки устанавливаются соглашением сторон.

Примечание. В спорных случаях рекомендуется подлежащий приемке щебень выкладывать в кучи, имеющие форму правильных конусов или призм высотой в 0,5 м.

2. От каждых 200 м³ щебня отбирают среднюю пробу общей емкостью в 30 л.
3. Средняя проба составляется путем тщательного смешивания трех проб по 10 л, взятых из кучи по усмотрению приемщика, из верхней, внутренней и нижней частей призмы (или конуса).
4. Для определения соответствия принимаемого щебня техническим условиям берут 10 л средней пробы.

¹ Данный стандарт распространяется на пемзовый щебень, предназначенный для монолитного бетона; стандарт на пемзовый щебень для камней и других малых изделий, а также стандарт на пемзовый песок для легких бетонов будет установлен дополнительно.

6) Методы испытаний

1. **Определение крупного щебня.** Крупность щебня определяют просеиванием просушенной до постоянного веса при температуре 100—110° С пробы сквозь сита диаметром отверстий в 5 мм (соответственно п. «а» Технические условия).
2. **Определение объемного веса щебня.** Для определения объемного веса берут смесь, состоящую из 15% остатка щебня, просеянного на сите с диаметром отверстий в 40 мм (из зерен немцового щебня, размером от 40 мм и выше), 40% остатка на сите с диаметром отверстий в 20 мм (из зерен размером от 20 до 40 мм), 25% остатка на сите с диаметром отверстий в 10 мм (из зерен от 10 до 20 мм) и 20% остатка на сите с диаметром отверстий в 5 мм (из зерен размером от 5 до 10 мм).

Полученную таким образом смесь тщательно перемешивают и высушивают до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 100—110° С, после чего взвешивают.

3. **Определение чистоты щебня.** Среднюю пробу после просушивания до постоянного веса взвешивают. Затем этот щебень опускают в воду (при помешивании). Посторонние примеси, имеющие удельный вес более удельного веса воды, осаждаются. Чистый же щебень всплывает. Всплывший чистый щебень просушивают до постоянного веса и вновь взвешивают. Разность между первым и вторым весом дает количество посторонних примесей.

Утвержден Комитетом по стандартизации при Совете труда и обороны 30 ноября 1929 г. как обязательный с 1 января 1930 г.

СССР	ОБЩЕСОЮЗНЫЙ СТАНДАРТ	ОСТ 3043
Всесоюзный комитет по стандартизации при Госплане	ЩЕБЕНЬ	МБИ (И.В.): 691.2
	диатомовый и трепельный	

А. Определение

Щебень диатомовый как наполнитель для теплых бетонов представляет собой искусственно измельченные диатомовые и трепельные породы.

Б. Технические условия

а) Крупность щебня

По крупности устанавливаются две градации:

1. Для бетонов на портланд-цементе — от 5 до 25 мм и от 5 до 40 мм.
Содержание пылевидных частиц, проходящих через сито с отверстиями в 0,15 мм, должно быть не менее 10% по весу.
2. Для бетонов на воздушной извести — от 5 до 25 мм, от 0,15 до 25 мм, от 5 до 40 мм и от 0,15 до 40 мм.
Содержание пылевидных частиц, проходящих через сито с отверстиями в 0,15 мм, должно быть не более 80% по весу.

б) Объемный вес

Для бетонов на портланд-цементе 600 кг/м³
" " " на воздушной извести 750 "

в) Влажность

При высушивании до 110° С потеря в весе не более 33% к весу щебня в воздушно-сухом состоянии.

г) Химический состав (считая на высушенную при 110° С навеску)

Содержание кремниевой кислоты (SiO₂) не менее 85%
" полутвердых окислов (Al₂O₃ + Fe₂O₃) не более 15%
" окислов кальция и магния (CaO + MgO) не более 10%

Потери при прокаливании — не более 8%.

Примечание. Химический состав определяется по требованию приемщика.

- д) Гидравлические свойства. Песчаный раствор известкового, диатомового или трепельного вяжущего вещества должен иметь через 28 дней временное сопротивление на сжатие 25 кг/см^2 и на растяжение 5 кг/см^2 .
- е) Размокаемость и истираемость. Щебень не должен размокать или рассыпаться в воде. Степень истираемости не должна превышать 10% по весу.

В. Упаковка

Щебень диатомовый и трепельный перевозится навалом без упаковки.

Г. Правила приемки

а) Отбор проб

Пробка трепельного щебня производится по объему.

Поставленная партия разбивается на части по 25 м^3 каждая. От каждой части поставки в 25 м^3 отбираются 4 пробы по 12 л из разных мест призм, конусов, куч или вагонов, тщательно смешиваются и делятся на 4 части, каждая объемом в 12 л, служащие для различных определений.

б) Методы испытаний

1. Влажность. Одна из 4 частей средней пробы дважды делится на 4 части и из полученной таким образом порции около 0,75 кг взвешивается и потом высушивается при 110°C (но не выше — во избежание потери гидравлической воды) до постоянного веса.

2. Крупность щебня. Определение высшего предела крупности щебня производится грохождением через соответствующие грохота в 25 и 40 мм, причем остаток на грохоте в обоих случаях не должен превышать 5% по весу.

Определение количества мелкой фракции производится одновременно с определением на размокаемость и истираемость (см. ниже).

Определение количества частиц нижней крупности производится грохождением через сито в 5 мм, причем через это сито должно пройти не более 5% по весу. Для этого определения берется вторая часть средней квартованной пробы объемом в 12 л, с влажностью не более 33%, которая насыпается в соответствующий грохот и просеивается в течение 3 мин.

3. Объемный вес. Третья из 4 частей средней пробы насыпается совком без уплотнения в 10-л сосуд и взвешивается; из полученного веса вычитается соответствующий объем вес гидроскопической воды, определяемый согласно пункту б/1. Полученный вес в килограммах умножается на 1000 и делится на 10, результат дает вес 1 м^3 щебня в килограммах.

4. Химический состав. Химический состав определяется применительно к методу химического анализа портланд-цемента (ОСТ 79).

5. Гидравлические свойства. Определение гидравлических свойств и временного сопротивления производится согласно ОСТ 3042.

6. Размокаемость и истираемость. 4-я часть средней пробы делится на 2 части и полученная таким образом $\frac{1}{2}$ часть пробы объемом в 5 л подвергается испытанию на неразмокаемость, причем в щебне для бетонов, изготовляемых из воздушной извести (см. разд. «В», п. а/2), одновременно определяется содержащаяся в нем пылевидная часть.

Щебень для бетонов на портланд-цементе (см. разд. «В», п. а/1) — размокаемость и истираемость определяются следующим образом.

Порция щебня в 6 л взвешивается, помещается в 20-л сосуд, залива-ется 15 л воды, помешивается деревянной лопаткой в 3 см шириной кругооб-разно 300 раз со скоростью 30 об/мин, после чего вода со щебнем процежи-вается через сито в 0,15 мм в свету в другой сосуд емкостью в 40 л, щебень на сите промывается 15 л воды. Сосуду с процеженными и взмученными в воде пылевидными частицами дают отстояться до полного оседания, на что требуется около суток, сливают лишнюю воду и высушивают в том же сосуде или на фильтре воронки до постоянного веса при 110°C и взвешивают. Коли-чество пылевидных частиц, проходящих через сито в 0,15 мм, как содержа-щихся в щебне, так и образовавшихся размоканием и истиранием его, не долж-но превышать 10% по весу, причем вес пылевидных частиц относится к ве-су взятого для испытания щебня также в сухом состоянии при 110°C .

Щебень для бетона на воздушной извести (см. разд. «В», п. а/2) — испытание производится как в первом случае. Количество пылевидных частиц, проходящих через сито с отверстиями в 0,15 мм, как содержащихся в щебне, так и образовавшихся при указанном испытании на размокаемость и истираемость щебня, не должно быть более 30% по весу.

Утвержден Всесоюзным комитетом по стандартизации при Госплане СССР 3 июня 1931 г. как обязательный с 15 июля 1931 г.

Приложение 7

О ВНЕСЕНИИ ИЗМЕНЕНИЙ В ПОРЯДОК ПАСПОРТИЗАЦИИ ЦЕМЕНТА

Приказ по Народному комиссариату тяжелой промышленности

№ 571, Москва, 18 августа 1932 г.

В целях устранения наблюдающихся случаев снабжения потребителей цементом пониженного качества и несоответствующего выданным паспортам, предлагаю в дополнение приказа ВСНХ СССР за № 197 от 12 апреля 1931 г. о паспортизации, сортировке и бракераже стройматериалов минерального происхождения ввести с 1 сентября 1932 г. следующие изменения в порядок выдачи и заполнения паспортов на отправляемый цемент.

1. Паспорт выдается на каждый вагон цемента и должен содержать дату и номер составления, наименование и адрес завода, марку цемента, номер наряда, адрес и станцию получателя и номер накладной.

2. В паспорте должны быть следующие показатели:

а) скорость схватывания и равномерность изменения объема, определяемые для каждого вагона цемента;

б) результаты на раздавливание цементного раствора с нормальным песком 1 : 3 через семь суток, определяемые для каждого десяти вагонов цемента;

в) остальные показатели, согласно § 4, а, г, д, приказа № 197 от 12 апреля 1931 г.;

г) паспорта с данными о скорости схватывания и равномерности объема заводами должны отсылаться потребителям не позднее двух суток со времени отправки цемента, а данные механической прочности на сжатие и остальные показатели — не позже восьми суток с того же времени.

8. Объединениям Союзцемент, Союзасбест, Сталь, Днепросталь, Центросталь, Востокосталь, в ведении которых находятся цементные заводы и цементные цеха, и Уполномоченным НКТП в ЗСФСР и УзССР по цементным заводам Закавказья и Средней Азии предлагаю усилить работу заводских лабораторий, а Институту цемента — их технический инструктаж.

4. Наблюдение за выполнением настоящего приказа возлагаю на упомянутые в п. 3 сего приказа организации.

Зам. наркома тяжелой промышленности

Г. ПЯТАКОВ

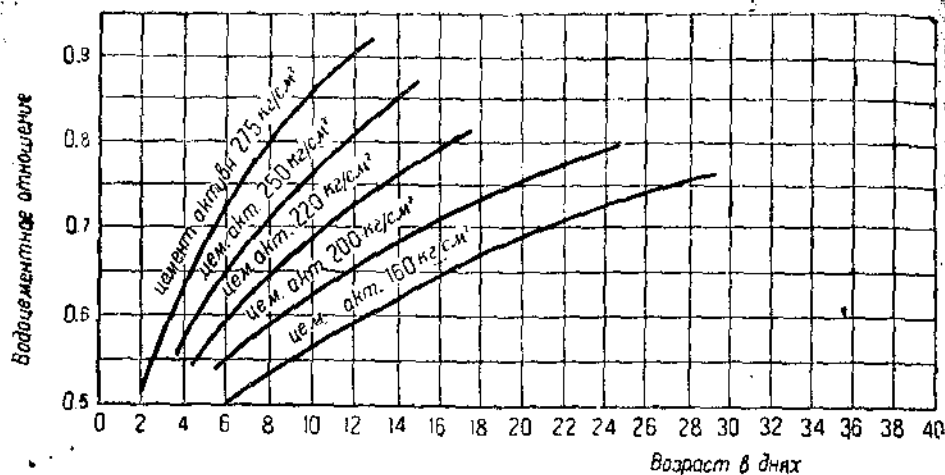


Рис. 60. Кривые нарастания прочности для бетона марки 90 кг/см².

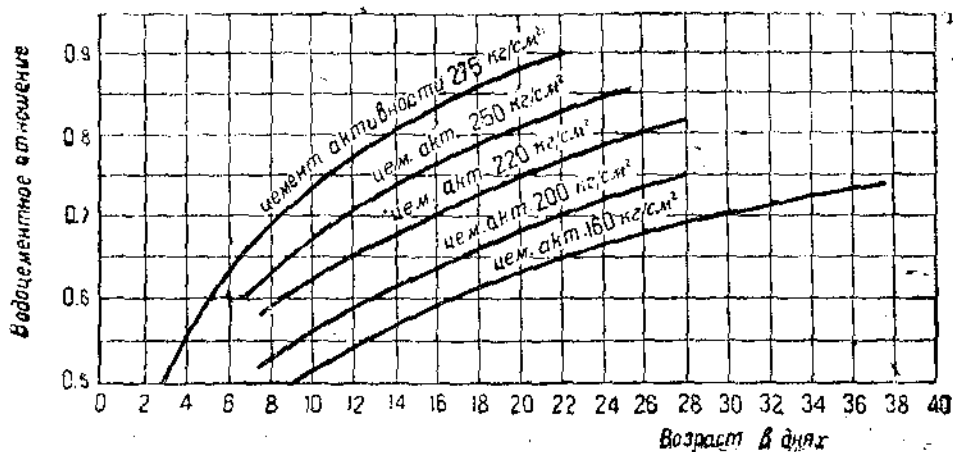


Рис. 61. Кривые нарастания прочности для бетона марки 110 кг/см².

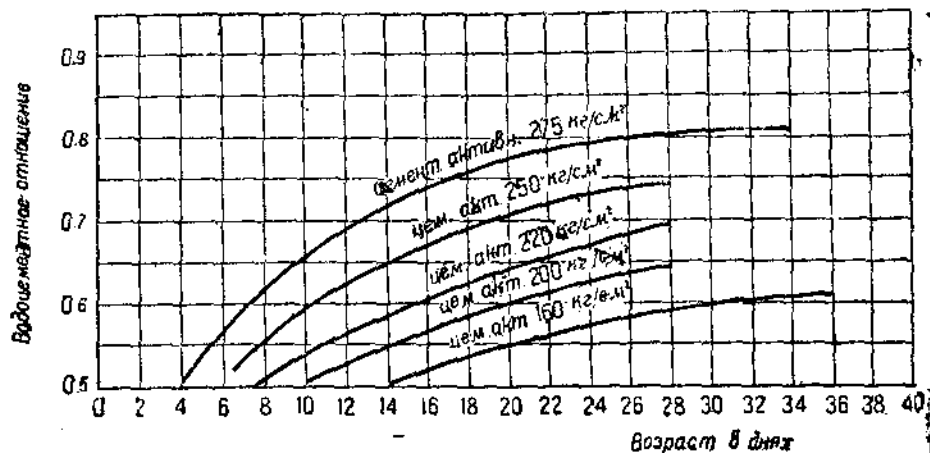


Рис. 62. Кривые нарастания прочности инж. Н. М. Френкеля для бетона марки 130 кг/см².

Предварительно для каждого песка были определены модуль крупности и объем пустот в сухом рыхлом состоянии.

При обработке результатов испытания необходимо было расположить пески по каким-либо основным признакам. Важнейшей характеристикой качества песка является прочность раствора, полученная при применении этого песка. Располагая пески по возрастающей прочности раствора, не представилось однако возможным установить прямую зависимость между прочностью раствора и модулем крупности или объемом пустот. По теории Абрамса с увеличением модуля крупности песка связано увеличение прочности раствора; данные опыты подтверждают это правило с большей оговоркой, а именно: влияние модуля крупности на прочность раствора можно установить только при одинаковых объемах пустот. В противном случае правило Абрамса не подтверждается. По приведенной

ниже таблице можно видеть например, что раствор с песком № 10 при M , равном 3, дает большую прочность (310 кг/см^2), чем при песке № 9 с M , равным 4 (прочность 265 кг/см^2), но объемы пустот их значительно разнятся (у песка № 10 v равно $33,3\%$, у № 9 — $40,7\%$). Опыты показывают, что пески природные, представляющие собой смесь зерен различной величины, имеют меньшие объемы пустот, чем однородные (искусственно отсеянные), и потому первые дают большую прочность раствора при одинаковых модулях крупности.

Использовать старое правило о том, чтобы судить о качестве песка по одному объему пустот, не представляется возможным, так как одинаковые объемы пустот можно

получить при комбинации как мелких, так и крупных фракций, однако прочности растворов при этом получаются совершенно различные.

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

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

Математически оценку песка предлагается производить следующим коэффициентом (коэффициент Скрамтаева):

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

где M — модуль крупности,

v — объем пустот в процентах (в сухом рыхлом состоянии),

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

Заметим, что от выбора числа N зависела та роль в оценке песка, которая уделяется объему пустот. Нами принято число N , равное 50

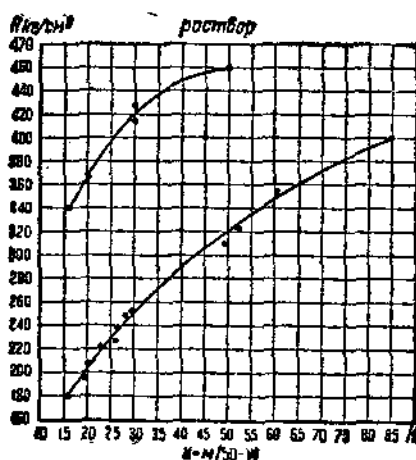


Рис. 40. Влияние песка на прочность раствора.

(наихудший песок имел объем пустот $v=42\%$, следовательно разность $(50-v)$ не будет равна нулю).

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

$$c = F(K)$$

изображена на рис. 40. В нем нанесены две кривых для испытания образцов возраста 28 дней и 6 мес., кривые идут почти параллельно. Точки, полученные в результате испытаний, довольно близко совпадают с нанесенными плавными кривыми¹.

Ниже приводится таблица испытания растворов с различными песками.

Таблица 25

№ по пор.	Название песка	Модуль крупности M	Объем пустот в процентах	Коэффициент $K = \frac{M}{50-v}$	Временное сопротивление в кг/см ²	
					через 28 дн.	через 6 мес.
1	Харьковский	1,87	40	16,7	179	836
2	Балаклейский Хар. окр..	1,81	39,5	19	195	—
8	Остаток на сите 0,3 мм	2	40	20	209	866
4	Харьковский карьерный	1,95	38	23,4	222	—
5	Смесь норм. вольских песков № 1 и 2 по ровну	2,50	39,5	26,2	227	—
6	Полтавский	1,93	36	27	238	—
7	Нормальный вольский песок № 1	3	40,5	28,5	246	413
8	Коростенский	2,68	39	29,5	251	426
9	Остаток на сите 1,25 мм	4	40,7	37,2	265	—
10	Бердичевский	3	33,3	50,1	310	460
11	Кутейниково (Донбасс) . .	3,18	33,6	52,1	320	—
12	Смесь № 1 (2,5—5 мм 50% и харьковского песка 50%)	3,33	32	59,9	354	—
	Смесь № 2 $\left\{ \begin{array}{l} 2-5 \text{ мм} - 60\% \\ 1-2 \text{ »} - 20\% \\ 0,5-1 \text{ »} - 10\% \\ 0,3-0,5 \text{ »} - 5\% \\ 0-0,3 \text{ »} - 5\% \end{array} \right\}$	4,25	30	85	400	—

Выше уже упоминалось еще об одном методе оценки механического состава песков — методе Графа. Он заключается в сравнении кривой просеивания данного песка с идеальной кривой просеивания. Наилучшим песком по Графу считается песок, имеющий зерен мельче 1 мм только 16—25%. Все отклонения от этого правила дают худшие результаты, но математическая оценка здесь не дается. К сожалению многие наши пески гораздо более мелки. Из нескольких десятков исследованных песков с построек наилучший имел зерен крупнее 1 мм всего 52%, большинство

¹Предложенный коэффициент был подтвержден опытами инж. Александрина в лаборатории ЛИИПС.

же целиком проходило через сито 1 мм. Такие мелкие пески, будучи местным дешевым материалом, все же по экономическим соображениям будут применяться для бетона. Однако для построек обычно имеется возможность выбора между несколькими сортами местных песков. Еще большая возможность выбора будет при применении привозных песков. Во всех случаях может найти применение предложенный коэффициент K для оценки гранулометрического состава песка. Этим устраняются все споры о преимуществах того или иного песка, не раз возникавшие на стройках.

Здесь не приводятся способы получения наилучших составов песка из смеси различных фракций, так как на практике эти способы не могут применяться в силу их дороговизны.

На постройках возможны только случаи, когда из двух различных местных песков (или из привозного и местного песков) будет составлена смесь в определенном соотношении. Ввиду бесконечного разнообразия возможных при этом комбинаций можно только рекомендовать, произведя несколько опытов с смесями песков в различных соотношениях, выбрать из них ту смесь, которой соответствует наибольший коэффициент K , а следовательно и наибольшая прочность.

Вполне возможно, что прибавление мелкого песка к крупному повысит прочность раствора, если крупный песок имел большой объем пустот. Так например в одном из опытов применялись два песка:

крупный $M=3,50$ с объемом пустот $v=38\%$;
мелкий $M=1,50$ » » » $v=37\%$.

Смесь этих песков в пропорции 1:1 имела $M=2,50$ и $v=30\%$; коэффициенты K для этих песков следующие:

для крупного $K=3,50 (50-38)=42,00$
» мелкого $K=1,50 (50-37)=19,50$
» смеси 1:1 $K=2,50 (50-30)=50,00$.

Следовательно в данном случае смесь песков 1:1 имеет наибольший коэффициент K и потому даст раствор наибольшей прочности.

Увеличение прочности раствора обычно связано с повышением прочности и бетона. Для выяснения зависимости между нормальной прочностью раствора и прочностью бетона ¹ через 28 дней в связи с применением

Таблица 26

Название песков	Нормальная прочность раствора кг/см ²	Прочность бетона кг/см ²	
		состав 1:2:4 осад- ка в см	состав 1:2:3 осад- ка в см
Бердячевский ..	310	195	180
Коростенский ..	251	170	157
Балаклейский ..	199	155	144
Харьковский ..	179	150	140

различных песков были поставлены специальные опыты, результаты которых сведены в табл. 26 и рис. 41.

При переходе от одного песка к другому имеем следующие соотношения проч-

ности растворов $\frac{R_p}{R_p}$ и бетонов $\frac{\sigma}{\sigma}$ см. табл. 27 на стр. 65).

¹ Под нормальной прочностью раствора понимается временное сопротивление сжатию через 28 дней образцов, изготовленных на данном песке теми же методами, что и при нормальном испытании цемента.

Таблица 27

	$\frac{R_p}{R'_p}$	$\frac{\sigma}{\sigma'}$	$\frac{\sigma}{\sigma'} \cdot \frac{R_p}{R'_p}$
От песка бердичевского к коростенскому . . .	1,23	1,15	0,93
От песка бердичевского к харьковскому . . .	1,73	1,30—1,29	0,75
От песка коростенского к харьковскому . . .	1,40	1,15—1,12	0,81
От песка коростенского к балаклейскому . . .	1,29	1,10	0,85
От песка бердичевского к балаклейскому . . .	1,59	1,26	0,79

В среднем можно принять, что при замене одного песка другим соотношение прочностей бетона меньше соотношения прочностей растворов в 0,8 раза.

Коэффициент для оценки щебня, аналогичный выведенному для песка, еще не выработан за недостатком опытов.

В. Влияние загрязнения песков на прочность цементных растворов и бетона. Методы определения глины. Допускаемое содержание глины в песке

Наиболее значительными примесями в песке являются глина и органические (обычно гумусовые) вещества.

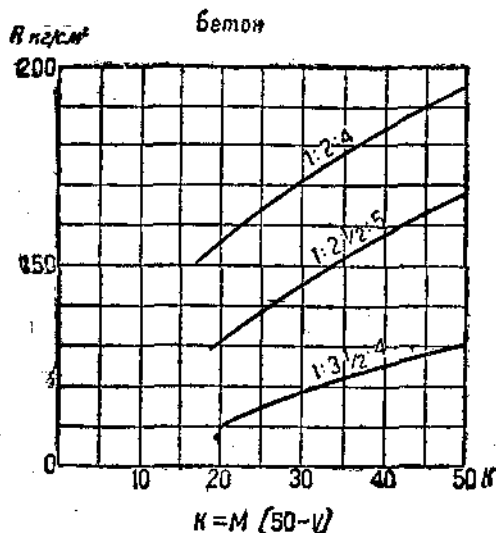
Значительно реже встречаются в песке: серный колчедан, слюда и гипс. Распознавание их и влияние на прочность цементного раствора изложены ниже, п. § 7, химический состав добавок.

Значительное вредное влияние даже весьма малых количеств органических веществ на прочность бетона доказано опытами Абрамса и др. Так как количественное определение этих малых количеств весьма трудно (во всяком случае для полевых лабораторий), то в настоящее время получил широкое распространение колориметрический метод исследования песка (метод Абрамса — Гардера), заключающийся в определении цвета жидкости над песком после обработки его 3%-ным раствором едкого натра NaOH. Цвет жидкости сравнивается с цветом эталона, изготовленного особым образом (подробное изложение метода дано в стандарте на песок). При окраске более светлой, чем эталон (желтая окраска), песок признается вполне удовлетворительным; при окраске, приближающейся к цвету эталона (желто-красная), песок может применяться только для неответственных сооружений; наконец при окраске темнее эталона (красная, коричневая и более темная) песок вовсе не может применяться для бетона без принятия особых мер, так как уменьшение прочности бетона составляет 25—100% (цветная таблица эталонов, см. вклейку стр. 72).

Для таких песков необходимы промывка водой и вторичная проверка колориметрическим методом. В случае, если промывка водой не дает улучшения, требуется промывка известковым молоком.

¹ Из книги «Einflüsse auf Beton», Kleinlogel и др.

Вопрос о загрязнении песка глиной гораздо более сложен. Осложнение обуславливалось отсутствием в нормах определения понятия «глина» и метода нахождения ее. При таких условиях старое указание норм о допустимости 5% глины теряло всякое значение. Примесь глины, определенная в одном и том же



Рас. 41. Влияние песка на прочность бетона.

глиной — частицы мельче	0,005 мм
пылью > >	от 0,005 до 0,15 >
песком > >	от 0,15 до 5 >

независимо от химического состава.

Как показали проделанные опыты, такое деление на три фракции имеет полное основание применяться, так как физические свойства их различны; пыль и глина способны отмоучиваться от песка, а глина отличается от пыли своей пластичностью и способностью разбухать при насыщении водой и давать усадку при высыхании. Видя именно в двух последних свойствах, присущих только глине, возможность вредно влиять на прочность раствора, признали целесообразным принять такое деление и при исследованиях бетона.

После установления опытами весьма важного свойства (разбухания), принадлежащего только действительной глине (частицы мельче 0,005 мм), естественно было воспользоваться этим свойством для количественного определения глины.

Существующий метод определения глины простым отмоучиванием явно неудовлетворителен; при быстром ведении отмоучивания сливается даже мелкий песок; при более медленном отмоучивании отделяется вместе с глиной и пыль. Кроме того отметим, что простое отмоучивание не отделяет всех частиц глины, прилипших к песку. Грубый метод отмоучивания не дает возможности отделить пыль от глины, почему пески с совершенно различными количествами глины будут приняты за одинаковые, если только они не различаются по сумме пыли и глины.

Для точного определения глины в почвенных (а в последнее время и в дорожных) лабораториях применяется ряд приборов — Сабанина, Шаке,

Григорьев, Муравьянского и др. Однако работа с ними довольно сложна и требует много времени.

Простейший полевой метод определения глины был предложен Ленинградским дорожно-исследовательским бюро ЦУМТ НКПС, он основан на выделенном свойстве глины — разбухать при насыщении водой.

В лаборатории Украинского института сооружений были произведены проверка и приспособление метода для целей строительства.

Ленинградское дорожно-исследовательское бюро на основании своих опытов дало таблицу для определения процента содержания глины по разбуханию. Однако эту таблицу здесь нет необходимости приводить, так как в ней процент глины точно пропорционален проценту разбухания. Таблицу можно заменить простой формулой:

количество глины в % $= k \cdot v$,
где k — постоянный коэффициент, равный 0,225,
 v — приращение объема в процентах.

Проверка метода велась таким образом: был взят ряд глины и песков, для которых имелся точный механический анализ на приборах Робинсона, выполненный лабораторией Главдорупра УССР, а затем поставлены опыты на разбухание.

Применявшийся метод определения разбухания приведен в стандарте на песок.

Из большого ряда проделанных опытов приведем только наиболее характерную часть (табл. 28).

Отметим, что некоторые пески давали отклонения; иногда получалось k , равное 0,25—0,33. Последнее явление однако объясняется присутствием в этих песках кроме глины органических примесей. Для таких песков необходимым дополнением служит описанный выше колориметрический метод.

Вывод из этих опытов следующий.

Для определения примеси глины в песке можно применить простую формулу:

содержание глины в процентах $x = 0,5v$, где v — приращение объема в процентах по отношению к первоначальному объему (10 см³).

Коэффициент k в формуле значительно больше, чем в ленинградской, что вероятно объясняется различием в методах и особенностями местных глины. Большой коэффициент не представляет опасности, так как при нем к песку предъявлялись бы большие требования чистоты. Однако ввиду выявившихся возможностей различия при определении цифры содержания глины возникло предложение вообще отказаться от определения ее, ограничившись только определением самой величины разбухания, как могущей вредно влиять на прочность раствора (не больше 5%).

Изучение влияния примеси глины на прочность раствора было начато

Таблица 28

Название материала	Процент действ. гл. X	Процент разбух. v	Коэффициент $k = X/v$
Глина из с. Часов-Яр	90	200	0,45
Глина из Прохоровое	31,3	62,5	0,50
Глина из Константиногр. . .	17	33	0,49
Глина из с. Влазовка	15,3	32,5	0,47
Пески № 27	8	20	0,40
Пески № 73 (1)	1,98	4	0,50
Пески № 73 (2)	1,94	4	0,49

с опытов по искусственному загрязнению нормального цементного раствора 1:3. Для опытов были взяты смесь нормальных вольских песков № 1 и 2 и глина трех сортов:

1) глина Х — харьковская, являющаяся глиной в обычном понимании, но по определению вышеизложенным методом содержащая всего 22% действительной глины;

2) глина А — амвросиевская, с содержанием глины 29%;

3) глина Ч — часов-ярская — белая огнеупорная глина, содержащая действительной глины до 90%.

Пески с различными добавками этих глин были тщательно перемешаны и растерты (для приближения к действительным условиям загрязнения). Результаты раздавливания нормальных кубиков через 28 дней следующие.

Таблица 29

Название раствора	Временное сопротивление раздавливанию кг/см ²		
	Глина Х	Глина А	Глина Ч
Нормальный раствор 1:3 (без глины)	206	206	206
То же с добавл. 5% глины	—	—	190
» » 10% »	235	233	129
» » 15% »	193	222	—
» » 20% »	161	195	—

Рассматривая опыты с глинами Х и А делаем вывод, что добавление к довольно однородному песку (каким является смесь нормальных песков) мелких частиц до 10% повышает прочность на сжатие, а 15% можно допустить без ущерба для прочности. Но в этих мелких частицах действительной глины содержится всего около 20%, следовательно в общем действительной глины должно добавляться в песку не более 2—3% (иначе говоря, разбухание песка должно быть не более 4—6%). В противном случае, как показывают опыты с глиной Ч, прибавление даже 5% мелких частиц (глины) влечет за собой уменьшение прочности.

Дальнейшие опыты были произведены с прибавлением глин к природному песку (харьковский речной песок, уже содержащий в себе до 2% глинистых и илестых частиц и дававший разбухание до 5%). Глина добавлялась двух видов: желтая харьковская и белая часов-ярская.

Испытание кубиков состава 1:3 через 28 дней дало следующие результаты (табл. 30):

Таблица 30

Наименование раствора	Временное сопротивление кг/см ²	
	Глина Х	Глина Ч
С песком природным	214	214
То же с добавл. глины 5%	190	179
» » » 10%	128	138
» » » 15%	105	51

Здесь прибавление 5% даже тощей харьковской глины понижает прочность раствора.

Из всех изложенных опытов был сделан вывод о допустимости песка для бетона с разбуханием не больше 5%. Для обычных песков, содержащих в себе большое количество мелких

фракций, этот предел ни в коем случае не должен быть превзойден, так как дальнейшие опыты показали, что удаление даже малых количеств глины путем промывки песков значительно повышает прочность растворов. Результаты этих опытов сведены в таблице 31.

Большое повышение прочности требует на всех крупных бетонных работах поставки испытаний раствора с местным песком, промытым и непромытым, и экономического подсчета выгоды промывки.

Кроме перечисленных примесей в песке недопустимы еще следующие примеси, понижающие прочность бетона:

1. Серный колчедан (черные вкрапления в песке) обнаруживается отбором зерен и обливанием их соляной кислотой; при наличии серного колчедана должен выделяться сероводород, узнаваемый по запаху.

2. Слюда (в количестве большем 1% от веса песка).

3. Гипс обнаруживается после кипячения песка в воде и испытания воды на содержание сернокислых солей по способу, изложенному на стр. 80; допускается в количестве не более 0,3%.

Таблица 31

Временное сопротивление кубиков из раствора 1:3 через 28 дней

Название песка	Песок		Возрастное прочности
	непромытый	промытый	
Харьковский	214	285	1,33
Бердячевский	275	348	1,27
Балаклейский	195	225	1,15

4. Влияние различных пород щебня на прочность бетона. Преимущество щебня или гравия

Ввиду большого разнообразия каменных пород, из которых приготавливается щебень, были поставлены автором специальные опыты для изучения влияния пород щебня на прочность бетона. Испытанию подвергались бетонные кубы с щебнями различных пород, но одинакового состава бетона (1:2:4), с одинаковым цементом, песком, осадкой конуса, одинаковой крупностью щебня и пр.

Результаты испытания образцов бетона 28-дневного возраста приведены ниже в таблице 32. Одновременно были испытаны каменные кубики со стороны 10 см тех же пород для характеристики их прочности.

Опыты позволяют сделать следующие выводы:

1. При прочности щебня, значительно превышающей прочность раствора (1-я группа: гранит, прочный песчаник и др.), влияние породы щебня не сказывается, так как разрушение бетона происходит по раствору.

2. При прочности породы щебня 300 кг/см² (2-я группа — мягкие песчаники, известняки) наблюдается заметное понижение прочности бетона (до 20%). Необходимо отметить, что в этих опытах испытывался бетон высокой прочности (173—197 кг/см²); для него необходим щебень также большой прочности (повидному из пород, дающих не менее 500 кг/см²). Дальнейшие опыты показали, что для бетона обычной марки (110 кг/см²) достаточен щебень из каменных пород или кирпича с прочностью около 100 кг/см².

Таблица 32

Группы	№ по пор.	Наименование пород щебня	Временное сопротивление камня, кубиков кг/см ²	Временное сопротивление бетона кг/см ²
1 группа	1	Гранит крожовский	1200	173
	2	Гранит керостенский	700	197
	3	Песчаник бадаклейский	800	190
	4	Песчаник константиновский	240	144
2 группа	5	Песчаник амурсе-евский	около 300	154
	6	Известняк керчен-ский		152
	7	Кирич	90—100	112

Испытание бетонных образцов, изготовленных при всех одинаковых условиях, для выяснения преимуществ гравия или щебня дало следующие результаты (через 28 дней):

Таблица 33

Наименование материала	Состав	Времен. сопр. бетона кг/см ²	Модуль крупно-сти М	Прочность, приведенная к модулю гравия	Состно-шение
Щебень амурсе-евский	1 : 2 : 4	140	8	112	1,18
Гравий (овражный) амурсе-евский	1 : 2 : 4	95	7,24	95	
Щебень амурсе-евский	1 : 2 ¹ / ₂ : 5	110	8	88	1,17
Гравий амурсе-евский	1 : 2 ¹ / ₂ : 5	75	7,24	75	
Щебень керченский	1 : 2 : 4	152	7,50	128	1,20
Гравий керченский (морской)	1 : 2 : 4	107	7	107	
Щебень керченский	1 : 2 ¹ / ₂ : 5	134	7,50	94	1,57
Гравий керченский (морской)	1 : 2 ¹ / ₂ : 5	60	6,19	60	

Непосредственное сравнение прочностей бетона, получаемых при применении гравия и щебня, произвести не представлялось возможным, так как гравий в обоих случаях имел меньшие модули крупности, чем щебень. Однако на основании специальных опытов имеется возможность перейти к прочности бетона со щебнем одинаковых модулей с гравием. Эти цифры, приведенные в последней графе, все же показывают, что и при равных модулях прочность бетона с щебнем превышает таковую для бетона с гравием. Исключая из рассмотрения последний в таблице, повидимому, исключительный случай, получим повышение прочности для бетона со щебнем около 20%.

Заметим, что гравий, применявшийся во всех опытах, имел плоскую форму и гладкие поверхности.

6. Влияние крупности и гранулометрического состава щебня на прочность бетона

Выше уже говорилось о влиянии на прочность бетона крупности песка; из табл. 20 можно сделать вывод, что с увеличением модуля крупности песка на единицу при одинаковом объеме пустот прочность бетона возрастает на величину от 30 до 58 кг/см².

Явление такого же характера наблюдается и для щебня. Опыты автора с бетонными кубиками, изготовленными при всех одинаковых условиях, но с щебнями различной крупности, дали следующие результаты на раздавливание через 28 дней (табл. 34).

Следовательно увеличение модуля крупности щебня на единицу влечет за собой увеличение прочности бетона от 20 до 40 кг/см², т. е. меньше, чем при изменении крупности песка.

Существенное влияние на прочность бетона оказывает также и гранулометрический состав щебня. В отличие от песка состав щебня может легко регулироваться постройками. Ввиду того что подбор щебня может являться одним из главных факторов удешевления бетона (путем уменьшения расхода цемента для получения бетона заданной прочности), было обращено особое внимание на постановку опытов по изучению влияния подбора щебня. Литературных данных о желательности применения щебня из различных фракций имеется достаточно; необходимо было только определить, какого повышения прочности бетона можно при этом ожидать, чтобы иметь возможность рекомендовать постройкам по экономическим соображениям отказаться от применяемого ими теперь однородного щебня.

Повышение прочности бетона вследствие правильного подбора щебня легко объясняется тем, что при подобранном щебне для получения необходимой пластичности бетона потребуется добавка меньшего количества воды, чем при щебне неподбранном; бетон же с меньшим количеством воды будет более прочным.

Первоначальные опыты имели целью сравнить прочность бетонных образцов, изготовленных, с одной стороны, из щебня, доставлявшегося с построек, приближавшегося к однородному (главным образом фракция 20—40 мм), и, с другой стороны, из щебня, подобранного по известной кривой Фуллера, содержавшей в себе следующие фракции:

20—40 мм	57%
10—20 >	22%
5—10 >	21%

Все остальные условия при изготовлении бетонных образцов были одинаковые, в том числе и консистенция (осадка конуса). Модуль крупности щебня неподбранного был $M=7,70$, подобранного $M=7,30$.

Результаты испытания сведены в следующей таблице (табл. 35 на стр. 72).

Заключаем, что подбор щебня может повысить временное сопротивление бетона 28-дневного возраста от 15 до 60%.

Ввиду того что составление щебня из трех сортов по крупности для

Таблица 34

Крупность щебня в мм	Модуль крупности M	Временное сопротивление бетона кг/см ²
40—20	8	170
20—10	7	130
10—5	6	110

Таблица 35

Состав бетона	Осадка копуса	Временное сопротивление через 7 дн. кг/см ²		Временное сопротивление через 28 дн. кг/см ²	
		щебень не- подобран- ный	щебень по- добранный	щебень не- подобран- ный	щебень по- добранный
1:2 $\frac{1}{2}$:5	10	120	140	158	181
1:3:6	7	89	63	57	92
1:2:6	8	112	142	146	188

построек может оказаться затруднительным, дальнейшие опыты были произведены с применением щебня только из двух фракций. Испытанию подверглись образцы одинакового состава (1:2:4) и одинаковой осадки (8—9 см) с различными комбинациями из двух сортов щебня.

Таблица 36

№ пор.	Крупность щебня	Модуль крупно- сти ще- бня	Объем пустот щебня в процен- тах	Временное сопротив- ление кг/см ²	
				через 7 дн.	через 28 дн.
1	20—40 мм (щебень не- подобранный)	8	54	59	78
2	20—40 > 50% . . .	7	38	72,5	104
3	5—10 > 50% . . .	7,5	44	90	102
4	20—40 > 50% . . .	7,5	42	89	123
5	20—40 > 75% . . .	7,75	45	102	127
	5—10 > 25% . . .				
	10—20 > 75% . . .				
	10—20 > 25% . . .				

На основании данных последней таблицы делаем следующие выводы.

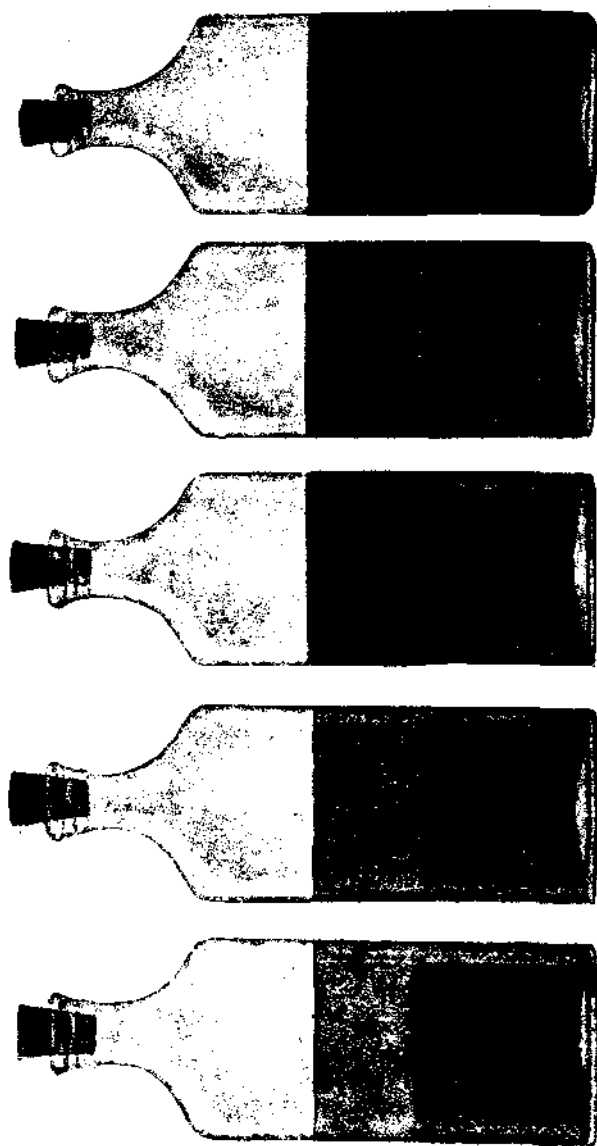
1. Наилучшей комбинацией сортов щебня является: 20—40 мм — 75%, и 10—20 мм — 25%. Увеличение прочности бетона составляет при этом до 60%.

2. Наибольший модуль крупности щебня не соответствует наибольшей прочности бетона. Это подтверждает высказанное нами выше положение об относительном значении модуля крупности.

Приведенные в таблице объемы пустот для различных комбинаций сортов щебня показывают, что щебень с наибольшим модулем крупности ($M=8$) имел и наибольший объем пустот, почему в общем состав № 1 дал наилучшие результаты. Математическую зависимость прочности бетона одновременно и от модуля крупности и от объема пустот щебня (подобно выведенной в п. 2 для песка) вывести не удалось ввиду малого количества опытов.

Наиболее отчетливо удалось установить влияние подбора инертных материалов на повышение пластичности бетона (а следовательно и на повышение прочности при одинаковой пластичности) путем постановки следующей серии опытов: были изготовлены бетонные образцы одинако-

Испытание песка на содержание органических примесей обработкой едким натром по способу Абрамса и Гардера.



А	В	С	Д	Е
Светложелтый цвет раствора	Желтый цвет раствора	Желто-красный цвет раствора	Красно-корич- невый цвет раствора	Темный красно- коричневый цвет
Песок применим для бетона с вы- сокими напряже- ниями	Песок применим для неотвешен- ного бетона	Песок применим для бетона	Абсолютно непри- годный песок	

ной дозировки 1:2:4 с одинаковым цементом (активности $R_7 = 208 \text{ кг/см}^2$; $R_{28} = 290 \text{ кг/см}^2$), с различными $\frac{W}{C}$. В половине образцов применены песок мелкий ($M=1,20$) и однородный щебень (20—40 мм). Назовем этот состав имеющим плохую гранулометрию. В другой половине образцов песок применен более крупный ($M=2$), половина песка заменена мелким гравием ($M=4$), щебень составлен из трех фракций: 20—40 мм—70%, 10—20 мм—15% и 5—10 мм—15% (назовем в дальнейшем этот состав имеющим хорошую гранулометрию). При изготовлении образцов определялась осадка конуса. Испытание кубиков на раздавливание было произведено через 7 дней. Все данные опытов помещены в табл. 37.

Из таблиц видно, как сильно повышается пластичность бетона при хорошем гранулометрическом составе инертных. Прочность бетона при одинаковой консистенции возросла до двух раз.

Не считая возможным гарантировать получение на постройках такого значительного повышения прочности бетона в связи с подбором щебня, как это было получено в лабораторных условиях, и относя особенно большое повышение прочности в последних опытах отчасти за счет улучшения песка, можно рассчитывать на постройках на повышение прочности при подборе щебня хотя бы в размере 30%.

Таблица 37

$\frac{W}{C}$	Плохой гранулом. состав		Хороший гранулом. состав	
	осадка см	$R_7 \text{ кг/см}^2$	осадка см	$R_7 \text{ кг/см}^2$
0,40	Составы весьма жесткие, трудно обрабатываемые	0	0	295
0,45			0	250
0,50			4,5	218
0,60			20	173
0,65		166	Дальнейшие составы с хорошей гранулометрией не изготовлялись, так как бетон получался совершенно жидкий	
0,70		171		
0,80		146		
0,85	4,5	123		
0,90	7,5	107		
0,90	15,5	87		

6. Влияние величины поверхности зерен и их формы на прочность и пластичность бетона

С увеличением общей поверхности зерен увеличивается потребность в цементном тесте для покрытия поверхности, почему пластичность бетона при заданном расходе цементного теста понижается. При необходимости сохранить пластичность потребуются добавление воды и как следствие — понижение прочности. Математической зависимости здесь не установлено.

Для характеристики величины поверхности зерен применяется понятие «модуль поверхности», представляющий собою суммарную поверхность зерен единице веса материала.

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, найдем, что 1 кг данного материала состоит из числа зерен

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

где γ — удельный вес материала.

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

$$S = \frac{6}{\gamma d^3} \pi d^3 = \frac{6}{\gamma d}.$$

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

Исходя из найденного для S выражения, видим, 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

$a, 2a, 4a, 8a$, 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:

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

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: $a, 2a, 4a, \dots$

Таким образом, пользуясь коэффициентом

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

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

Форма зерен и свойства их поверхности

В отношении формы зерен и свойств их поверхности не может быть предложено никакой численно выражающейся характеристики.

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

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

При одинаковой пластичности наибольшую прочность бетона дает применение щебня (гравия), приближающегося по форме к кубической, немного меньшую прочность дают зерна шарообразной формы, значительно меньшую — плоской формы.

7. Химический состав добавок

Химический состав добавок обычно не оказывает влияния на бетон, почему добавки и получили название инертных материалов, однако в

¹ Гайз, Литой бетон и его применение в строительстве.

некоторых случаях вследствие химического средства добавки с цементом прочность бетона значительно повышается. Это имеет место например при применении вместо кварцевого песка нефелинового, щебня из цементного клинкера и т. п.

Вопрос еще не достаточно изучен.

8. Упрощенные методы исследования добавок (способ автора)

Определение модулей крупности и построение графиков зернового состава требуют наличия сит на постройке и являются довольно сложными.

Также представляют некоторую сложность точные способы определения чистоты и прочности материалов. Эти способы изложены в стандартах на песок и гравий (приложение 5).

В целях упрощения в особенности на мелких постройках возможно пользоваться следующими способами.

Крупность песка

Песок не должен состоять только из одних крупных зерен; такой песок имеет много пустот и дает бетон неплотный; необходимо иметь в составе песка мелкие зерна для заполнения пустот, получившихся между крупными зернами.

По крупности песок делится на 3 сорта:

мелкий	— III сорт
средний	— II »
крупный	— I »

Песок III сорта имеет модуль крупности 1,5; II сорта — 2,5; I сорта — 3,5.

Все эти пески изображены на рис. 42, 43, 44; для того чтобы определить на постройке, к какому сорту относится доставленный песок, необходимо взять пробу песка, высушить и рассыпать тонким слоем на черном листе бумаги; при этом легко сравнить песок с приведенными здесь рисунками и определить его сорт.

Изображенный на рис. 42 песок является очень мелким; еще более мелкий песок вовсе непригоден для бетона, так как требует слишком большого расхода цемента.

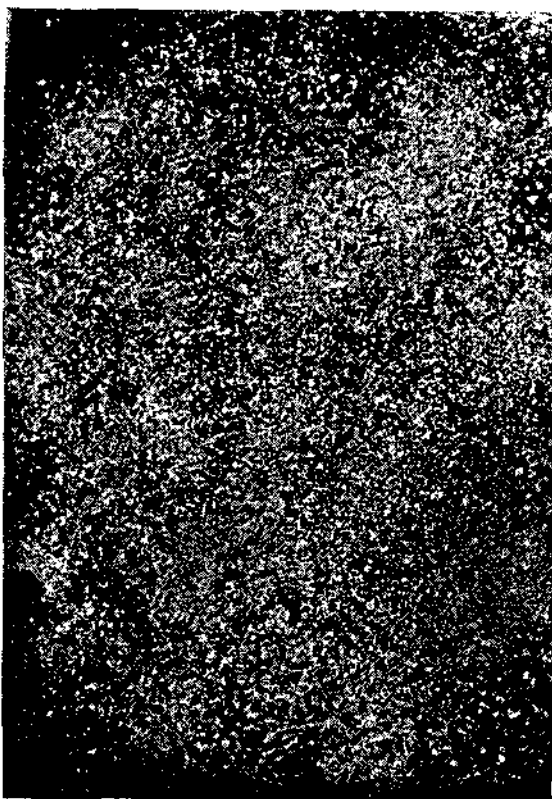


Рис. 42. Песок мелкий.

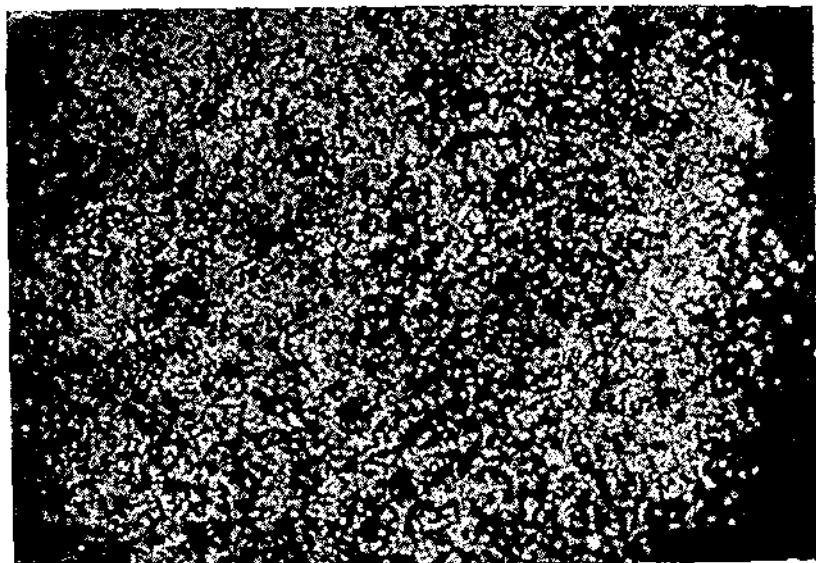


Рис. 43. Песок средний.

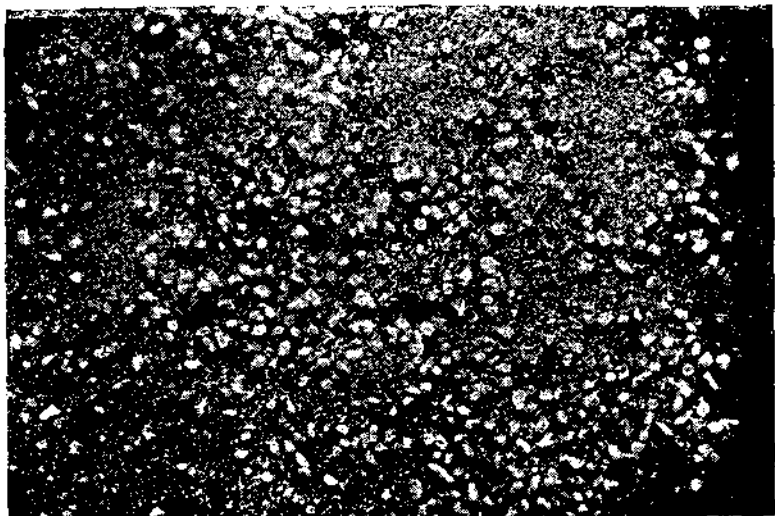


Рис. 44. Песок крупный.

Средний песок, изображенный на рис. 43, хотя и крупнее предыдущего, но имеет тот недостаток, что все зерна его одинаковой крупности; нет мелкого заполнителя.

Крупный песок, изображенный на рис. 44, весьма хорош для бетона, так как имеет в себе и крупные и мелкие части.

Здесь приводятся также две американских фотографии песков с рассевом их на фракция: песок на рис. 45 весьма нежелателен для бетона, песок на рис. 46 весьма хорош.

Чистота песка

Обычно пески загрязнены глиной, пылью, илом, перепревшим и пр. Необходимо, чтобы количество этих примесей было возможно меньшее, не выше установленного предела. Глины вместе с пылью должно быть не более $\frac{1}{10}$ общего объема песка.

Для грубого исследования песка берут стеклянный цилиндр с делениями емкостью 500 см³, всыпают туда сухой песок в таком количестве, чтобы при постукивании о какой-либо предмет (например книгу) песок занял объем 200 см³; наливают воду, взбалтывают песок, затем дают отстояться 1 мин., сливают глину и пыль, осевшую сверху, и так продолжают несколько раз, пока вода не станет светлой. Тогда снова уплотняют песок постукиванием и смотрят, какой объем чистого песка остался в цилиндре. Должно остаться не менее 190 см³. В противном случае песок сильно загрязнен и требует промывки.

Песок землистого цвета неприменим для бетона без промывки; если же промывка водой, а затем и известковым молоком не даст осветления, песок нужно заменить другим.

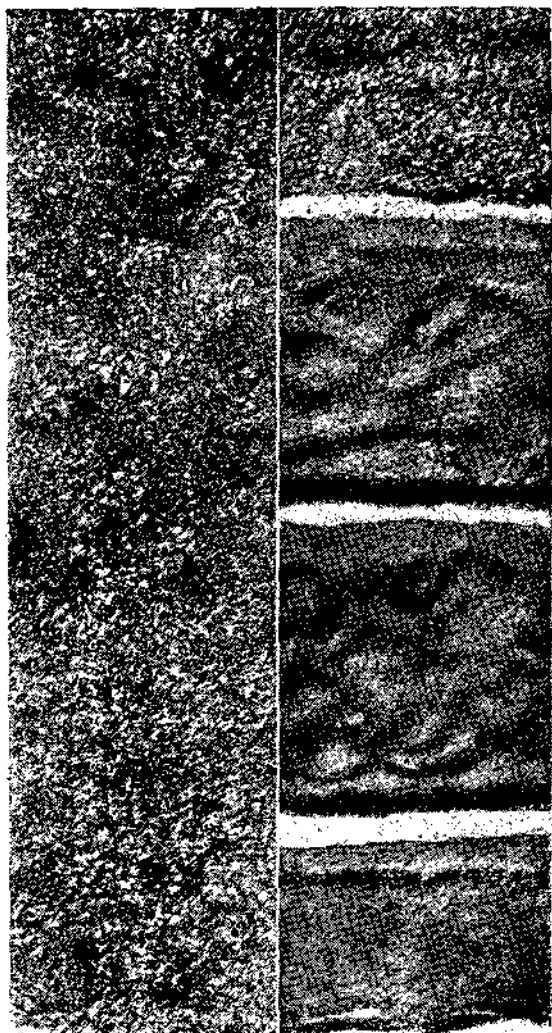


Рис. 45. Плохой песок.

Прочность щебня

Щебень (и гравий) применяется для бетона, если он получен из достаточно твердых каменных пород (граниты, прочный песчаник, прочный известняк) или кирпичного

щебня (см. стр. 173). Слабые каменные породы требуют более жирных составов бетона и могут применяться только после изготовления и испытания образцов из намеченного состава.

Достаточная прочность щебня (гравия) для нормального бетона проверяется молотком следующим образом: берутся 10 щебенек размером 20—40 мм, кладутся по очереди на стол, затем молоток весом 2 кг с ручкой длиной 40 см опускается свободно на щебенку 3 раза с высоты 25 см. Из 10 щебенек должно разбиться не более трех (если щебенка просто расколется пополам, то это еще не указывает на плохое качество щебня; при малой прочности щебенка раздробляется на несколько частей).

По способу проф. Философова П. С. прочность щебня определяется еще проще. Берется 2 кг, укладывается в холщевый платок 70×70 см, 4 конца завязываются, производится 20 ударов о чугунную плиту, описывая в воздухе рукой круг и встряхивая после каждого удара. Просеивается через сито 5 мм и определяется остаток в процентах.

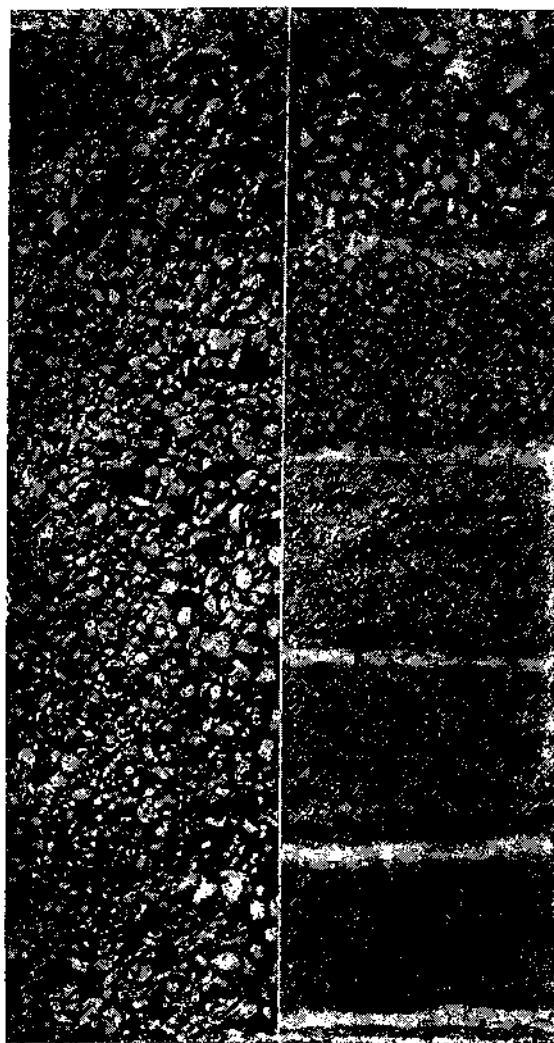


Рис. 46. Хороший песок.

Если получится остаток	{	90% — материал высшей прочности
		> 70—90% — среднего качества
		ниже 70% — слабый щебень.

Крупность щебня

Так же, как и для песка, для щебня (гравия) необходимо произвести исследование крупности и чистоты.

Для получения большей прочности бетона необходимо щебень брать возможно крупный, однако размер щебенки должен быть не более $\frac{3}{4}$ расстояния между арматурой и не более $\frac{1}{4}$ части ширины балки или колонны.

Кроме того нельзя допускать в составе щебня (гравия) одних крупных зерен; необходимо иметь около половины мелких зерен (мельче $\frac{1}{2}$ крупных зерен). Пример такого гравия с хорошим зерновым составом приведен на рис. 47.

Для проверки крупности щебенки необходимо изготовить из проволоки 3 кольца с отверстием 40, 20 и 10 мм (рис. 48). Берутся из нескольких мест штабели пробы щебня (гравия), смешиваются, и из них отвешивается 10 кг для исследования. Отвешенный щебень пропускается через кольца, начиная с 40 мм; щебень, не прошедший через кольца, складывается отдельно и затем взвешивается.

По крупности щебень (или гравий) делится на 3 сорта:

I сорт — крупный; около половины щебенки крупнее 40 мм, остальные — более мелкие;

II сорт — средний; около половины щебенки крупнее 20 мм, остальные — более мелкие;

III сорт — мелкий; около половины щебенки крупнее 10 мм, остальные — более мелкие.

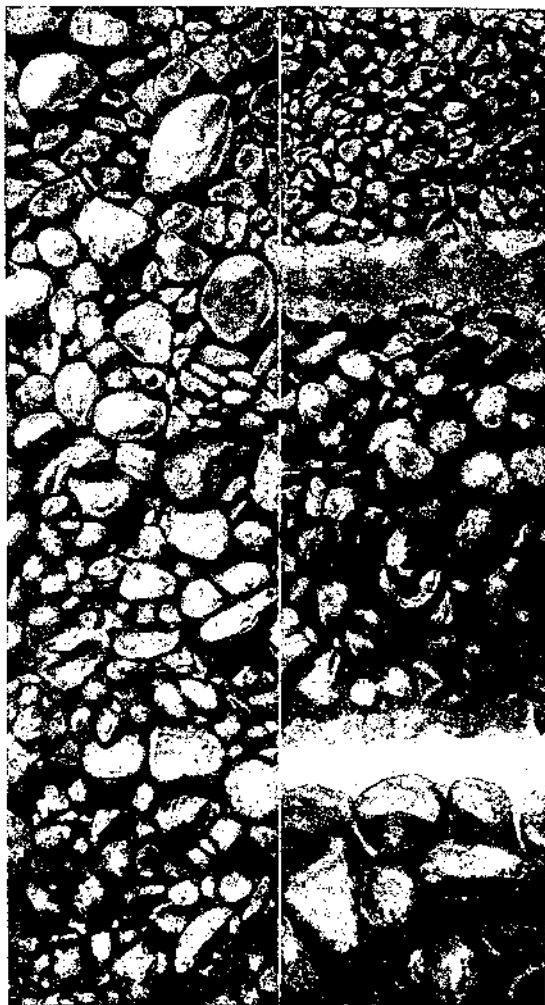


Рис. 47. Гравий.

Чистота щебня

Поверхность щебенки (или гравия) должна быть чистой, не покрытой глиной или землей. В противном случае требуется промывка.

§ 7. Вода для затворения бетона и как среда для бетонных сооружений

Допустимость применения воды, загрязненной какими-либо минеральными или органическими примесями, для затворения бетона зачастую

требует решения строителя. Не менее важным является вопрос о влиянии грунтовой и другой воды на затвердевший бетон.

По первому вопросу нормы дают только указание о недопустимости содержания в воде сернистого ангидрида SO_2 больше 0,3%, хлористого натрия или магния — более 1% по весу, а также о непригодности для бетонных работ воды болотной, торфяниковой, загрязненной фабричной и минерализованной.

Нормы рекомендуют производить химический анализ воды полевым или лабораторным способом, но не дают подробных указаний о допустимом составе воды.

Данных о химическом составе воды, вредно влияющей на затвердевший бетон, в нормах не имеется. Возможно только указать, что при отсутствии движения грунтовых вод примеси в них допустимы в тех же пределах, что и в воде для затворения бетона.

При наличии движения воды нормы содержащихся примесей должны быть значительно понижены.

Полевое исследование воды имеет целью установить, не имеет ли вода недопустимого для бетона кислотного характера или сернистых солей. Это простейшее исследование выполняется описанным ниже образом.

При помощи лакмусовой бумажки определяют кислотность или щелочность воды.

Для этого набирают в две пробирки воду и опускают в каждую из пробирок по кусочку лакмусовой бумажки: в одну — синего цвета, в другую — красного.

Синяя лакмусовая бумажка в присутствии кислоты делается красной; красная лакмусовая бумажка синее в присутствии щелочей.

Бумажка опускается в пробирку так, чтобы только часть ее оказалась в испытуемой воде, другая же часть должна оставаться сухой (для контроля).

По истечении 3—4 час. наблюдают изменение цвета погруженного в воду конца бумажки, на основании чего и судят о характере воды.

Проверка на содержание солей серной кислоты (сульфатов) производится следующим образом.

В пробирку с испытуемой водой вливают несколько капель соляной кислоты и затем доливают несколько капель 10% раствора хлористого бария.

Помутнение до молочно-белого цвета воды свидетельствует о присутствии в ней сульфатов.

Описанное опробование основано на обменной химической реакции. Барий замещает металл в растворе, содержащем сульфаты, и выпадает в виде нерастворимого в воде сульфата бария, чем и обусловлено помутнение воды.

Если помутнение не наступит, то можно с уверенностью утверждать, что вода не содержит сульфатов.

Все приведенные выше опробования носят качественный характер и играют лишь предупредительную роль.

Подозрительные воды не могут быть забракованы только на основании опробования. Необходимо в этих случаях пересылать воду для химического анализа в лабораторию.

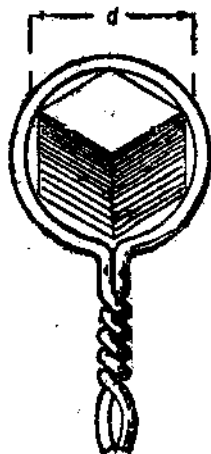


Рис. 48. Мерное кольцо. часть ее оказалась в испытуемой воде, другая же часть должна оставаться сухой (для контроля).

Для этой цели направляют воду в количестве не менее 3 л, указывая, для какой цели предназначается вода и что вызывает в ней сомнение. 3-литровая проба воды должна быть налита в чистый сосуд, который тщательно закупоривают.

Получаемый из химической лаборатории протокол исследования может быть не снабжен заключением о пригодности или непригодности исследованной воды.

Поэтому строителю важно уметь прочесть анализ и правильно рассчитать его.

Для этой цели прежде всего необходимо знать состав воды и те понятия, которые кроются в терминах, сопровождающих данные о составе воды¹.

1. Водородный показатель (рН) говорит о щелочности или кислотности воды.

В идеальной нейтральной воде $pH = 7$.

Однако в практике идеальной нейтральных вод не бывает.

В качестве некоторой нормы можно принять значение водородного показателя

$$pH = 8,4,$$

причем, если рН больше 8,4, это говорит о щелочности; если рН меньше 8,4 — это является признаком кислотности.

Водородный показатель меньше 7 вынуждает с известной осторожностью отнестись к воде в том случае, если она как среда проточная.

2. Остаток после просушки указывает на количество содержащихся в воде растворенных и взвешенных твердых веществ; желательно, чтобы их было более 500 мг/л.

3. Если остаток после просушки прокалить, то в нем сгорают могущие обуглиться частицы. Это в большинстве случаев органические вещества. Чем их меньше, тем лучше по качеству вода.

Итак, прокаленный остаток есть остаток после просушки минус сгоревшие органические вещества, а потери при прокаливании — количество сгоревших частиц в мг/л.

4. Прочно связанной углекислотой называется такое соединение ее, которое неспособно растворяться в воде. Поэтому прочно связанная углекислота не представляется опасной для бетона.

В противоположность ей углекислота свободная, способная вступать в соединение со свободной известью в бетоне, представляет собою опасность. Количество ее, превышающее 50—70 мг/л, является нежелательным.

5. Содержание серной кислоты в воде тоже должно рассматриваться как неблагоприятное явление; однако присутствие ее в количестве до 100 мг/л может считаться допустимым.

6. Кремнекислота на качество воды влияния не оказывает и является безвредной для бетона.

7. Сумма окиси кальция и магния не должна превышать 300—400 мг/л.

8. Содержание в воде хлора, солей азотистой кислоты, азотной кислоты, аммиака в сколько-нибудь значительном количестве вынуждает отказаться от применения такой воды для бетона; особенно это нежелательно в водах, являющихся средой для бетона.

9. Количество применяемого для окисления органических веществ

¹ Составлено по данным инж. Н. М. Френкеля.

марганцевокислого калия в нормальной воде не превышает 10 мг/л. Количество применяемого для той же цели кислорода не должно превышать 2—3 мг/л.

При оценке качества воды весьма важную роль играют чисто местные обстоятельства: переменный уровень воды и скорость ее течения, обуславливающая количество могущих химически реагировать с бетоном веществ, содержащихся в воде.

Вода как среда для бетона играет гораздо большую роль, чем вода как материал для затворения; большинство даже подозрительных вод может быть употреблено для затворения. В частности может применяться для затворения бетона морская вода, но с учетом небольшого понижения прочности бетона.

§ 8. Проектирование составов бетона

Под проектированием составов бетона понимается операция, дающая возможность определить наиболее рациональный состав бетона, который бы при применении имеющихся местных материалов обеспечил бетону заданную прочность в определенный срок и необходимую консистенцию (пластичность) при укладке.

Эта операция может быть произведена на основании одного из трех принципов.

Подбором наиболее выгодного состава бетона путем приготовления небольшого числа смесей по определенной программе. Этот способ является наиболее точным, но требует производства опытов, хотя и весьма простых. Способ имеет две разновидности: 1) американский способ, при котором заранее назначаются несколько составов бетона, изготавливаются и проверяются на пластичность; при этом только один состав (а в некоторых случаях ни один) удовлетворит заданной пластичности без гарантии, что этот состав является наиболее экономичным; 2) способ автора, состоящий в том, что назначается только несколько различных соотношений между песком и щебнем; к смеси этих материалов добавляются постепенно цемент и вода в соотношении, соответствующем заданному водоцементному фактору, до тех пор, пока не получится при каждом составе необходимая пластичность; в результате опытов получается несколько составов бетона, удовлетворяющих одновременно заданной прочности и пластичности. Из этих составов выбирается наиболее экономичный и удобный в работе. Изложенный второй вариант как более экономичный, удобный и рекомендованный в нормах излагается ниже подробно.

Проектированием (расчетом) по готовым графикам (американским, проф. Веляева, Скрамтаева и др.). Этот способ не отличается большой точностью, так как графики строились для некоторых определенных материалов, почему графики здесь не приводятся.

Назначением составов бетона по готовым таблицам. Таблицы (автора и инж. Френкеля) составлены по данным опытов и дают только ориентировочный ответ о составе бетона, но не уступающий по своей точности предыдущему способу. Таблицы вместе с пояснениями к ним приведены ниже.

1-й способ — подбор составов при помощи опытов

Подбор составов бетона начинается с определения водоцементного отношения, соответствующего заданной прочности. Как изложено на стр. 36—41

между водоцементным отношением и прочностью бетона существует следующая зависимость:

$$\frac{W}{C} = \left(\frac{K \cdot R_n}{A \cdot \sigma} \right)^{1/\alpha},$$

где R_n — активность цемента в кг/см² через 28 дней;
 σ — заданная прочность бетона в срок 7 или 28 дней;
 A и α — величины, зависящие от расчетного срока:

при 7 днях $A=6$, $\alpha=2$;
» 28 » $A=3$, $\alpha=1,5$;

K — поправочный коэффициент, зависящий от характера инертных материалов, значения которого следующие:

При применении гравия (а не щебня) $K=0,8$.

При употреблении остроугольного песка (а не речного отшлифованного) $K=1,10$.

При применении искусственного песка $K=1,1$.

При применении добавок, имеющих неправильный зерновой состав, $K=0,8-0,7$.

При большой загрязненности материалов, стоящей на границе допустимой, $K=0,8$.

Для вычисления дробных степеней служит вспомогательная таблица на стр. 137.

После определения водоцементного отношения необходимо выбрать консистенцию (прочность) бетона.

Выбор консистенции (степени пластичности) бетона производится в зависимости от двух факторов:

1) от способа транспортировки бетона,

2) от рода бетонизируемой конструкции (при пластичном бетоне).

При распределении бетона на места укладки при помощи желобов нужен литой бетон, дающий осадку конуса не менее 18 см (угол наклона столика 17°). При развозке бетона в тачках или вагонетках применяется пластичный бетон, у которого осадка конуса может колебаться в очень широких пределах: от 2 до 15 см.

Во избежание ошибок необходимо назначать пластичность бетона (осадку конуса) в зависимости от рода конструкции согласно нижеприведенной таблице (см. табл. 38 на стр. 84).

При составлении таблицы принято во внимание следующее.

Степень пластичности бетона определяет расход цемента и расход рабсилы на укладку бетона, а следовательно выбор той или иной пластичности имеет решающее значение для стоимости бетона.

Именно выбор большой пластичности вызывает большой расход цемента (для получения бетона нужной прочности), но в то же время уменьшает расход рабсилы при укладке.

Так как дефицитными являются не только цемент, но и рабсила, то найти правильное решение для выбора пластичности бетона самому прорабу будет затруднительно; поэтому рекомендуется пользоваться таблицей, составленной по данным практики.

Таблица 38

Таблица для выбора консистенции бетона

№ по пор.	Название конструкции	Осадка конуса в см	Угол наклона столбика сыпучесть в градусах
1	Массивные фундаменты без арматуры и с редкой арматурой, бетонная подготовка под полы, стены толщиной 20 см и более с редкой арматурой, балки и арки с редкой арматурой сечением более 60 × 30 см	2—5	33—30°
2	Фундаменты густо армированные, стены толщиной 12—20 см с арматурой средней густоты, плиты перекрытий, балки сечением более 40 × 20 см, колонны сечением более 30 × 30 см	5—7	30—28°
3	Колонны сечением менее 30 × 30 см, балки сечением менее 40 × 20 см, вертикальные стенки толщиной 10—12 см	7—12	28—25°
4	Вертикальные стенки толщиной менее 10 см с густой арматурой, высокие и узкие балки с густой арматурой	12—18	25—18°

Далее заготавливаются три смеси песка со щебнем (гравием) в различных соотношениях, не выходящих однако из пределов:

$$\frac{\text{песок}}{\text{щебень}} = \frac{1}{m} \text{ от } \frac{1}{1} \text{ до } \frac{1}{2,5}$$

(соотношение по объему в сухом и рыхлом состоянии).

Более точно соотношения между песком и щебнем выбираются по следующей таблице.

Таблица 39

	Песок крупностью более 0,60 мм			Песок крупностью менее 0,60 мм		
Щебень (гравий) крупностью более 20 мм	1:1	1:1,5	1:2	1:1,5	1:2	1:2,5
Щебень (гравий) крупностью менее 20 мм	1:1,5	1:2	1:2,5	1:2	1:2,5	—

Примечание. Крупность материалов определяется на-таз или при помощи сит с размером отверстий 0,60 и 20 мм (из стандартного набора сит, если таковой имеется на стройке). При этом материал считается крупнее 0,60 или 20 мм, если более 2/3 материала остается на данном сите.

Количество щебня берется a литров, равное необходимому объему кубиков или конуса. Инертные перед опытом высушиваются до постоянного веса при $t^{\circ}=60-80^{\circ}\text{C}$. Песка берется $\frac{a}{m}$ литров.

Отвешивается отдельно цемент в количестве $\frac{a}{2m}$ килограммов, которое

является заведомо малым, для того, чтобы в дальнейшем, добавляя цемент, можно было получить состав с нужной консистенцией.

Отвешенная порция цемента прибавляется к первой из вышеуказанных смесей и разводится тем количеством воды, которое соответствует принятому $\frac{W}{C}$, т. е. воды берется $\frac{a}{2m} \cdot \frac{W}{C}$. Если полученный бетон будет иметь недостаточную пластичность, то делают добавки цемента порциями по $\frac{a}{20m}$, добавляя обязательно каждый раз и воду в количестве $\frac{a}{20m} \cdot \frac{W}{C}$ до тех пор, пока не получится бетон заданной консистенции.

Та же операция повторяется с двумя другими вышеуказанными смесями.

В результате получаются три состава бетона, удовлетворяющих одновременно двум условиям: заданной прочности и заданной консистенции.

Из этих составов выбирается наиболее экономичный (по данным о местных ценах на материалы), наиболее удобный для работ и требующий наименьшего расхода цемента.

Однако для железобетона не могут быть допущены составы, в которых расход цемента менее указанных в нормах количеств (250 кг/м³ в случаях воздействия атмосферы и 220 кг/м³ в защищенных конструкциях).

В случае наличия на постройке цемента повышенного качества возможно уменьшить расход его до 180—200 кг/м³ с добавлением 20% трепела. Трепел добавляется в бетономешалку в виде теста и вызывает небольшое падение пластичности и замедление темпа твердения в первые дни. Эта мера не допускается для особо ответственных железобетонных сооружений.

Если на принятый состав замеса затрачено a литров щебня и Z килограммов цемента, то номинальный состав бетона будет следующий:

$$1 : \left(\frac{a}{m} \cdot \frac{1,3}{Z} \right) : \left(a \cdot \frac{1,3}{Z} \right),$$

где $\frac{1}{m}$ — вышеуказанное соотношение объемов песка и щебня.

Формула выведена из расчета условного объемного веса цемента 1,3 кг/л для сухих и рыхлых инертных материалов.

Для уточнения подбора бетона желательно задаться еще промежуточными соотношениями $\frac{1}{m}$, ближайшими к принятому первоначальному составу, и повторить подбор по тому же способу.

Пример подбора

Задание: подобрать состав бетона прочности $\sigma_{28} = 110$ кг/см² и пластичности, характеризующейся осадкой конуса $Sl = 8$ см, при имеющемся цементе с активностью $R_n = 160$ кг/см² и при средних условиях в отношении инертных материалов.

Вычисляем $\frac{W}{C}$ по формуле

$$\frac{W}{C} = \left(\frac{R_n}{A \cdot \sigma_{28}} \right)^{1/a} = \left(\frac{160}{3 \cdot 110} \right)^{1/1,3} = 0,62.$$

Далее установлено, что щебень имеет крупность больше 20 мм, а песок — меньше 0,60 мм. В таком случае выбираем по вышеприведенной таблице следующие соотношения между песком и щебнем:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{1,5}; \frac{1}{2}; \frac{1}{2,5}.$$

Изготавливаем первую смесь. Для измерения консистенции конусом достаточно иметь бетона 10 л. Берем поэтому (с избытком):

$$\begin{aligned} \text{щебня } a &= 10 \text{ л,} \\ \text{песка } \frac{a}{m} &= \frac{10}{1,5} = 6,66 \text{ л,} \\ \text{цемента } \frac{a}{2m} &= \frac{10}{3} = 3,33 \text{ кг} \\ \text{и воды } \frac{a}{2m} \cdot \frac{W}{C} &= \frac{10}{3} \cdot 0,62 = 2,06 \text{ кг.} \end{aligned}$$

При этом оказывается, что бетон при измерении конуса дает например осадку 2 см, т. е. обладает недостаточной пластичностью.

Добавляем цемент в количестве $\frac{a}{20m} \cdot 0 = 0,33$ кг и воду в количестве $\frac{a}{20m} \cdot \frac{W}{C} = 0,206$ кг. Получим осадку конуса 4 см, что также является недостаточным.

Прибавляем цемент и воду такими же порциями еще один-два раза, в результате чего получим требуемую осадку конуса 8 см.

Таким образом на изготовление бетонной смеси затрачено цемента $3,33 + 3 \cdot 0,33 = 4,32$ кг; номинальный состав смеси будет:

$$1 : \left(\frac{a}{1,5} \cdot \frac{1,3}{4,32} \right) : \left(a \cdot \frac{1,3}{4,32} \right) = 1 : 2 : 3 \text{ (при } a = 10).$$

Повторяя те же операции подбора с двумя другими соотношениями песка и щебня, получим:

$$\text{при } \frac{1}{m} = \frac{1}{2}, \text{ состав } 1 : 2 : 4;$$

$$\text{при } \frac{1}{m} = \frac{1}{2,5} \quad " \quad 1 : 2,2 : 5,5.$$

В случае, если наимыгоднейшее соотношение между песком и щебнем определено заранее, как указано на стр. 61, то требуется изготовление только одной смеси.

Эти составы подобраны с той же консистенцией (8 см), что и предыдущий, и дадут одинаковую прочность, так как $\frac{W}{C}$ сохранено постоянным.

Из полученных составов следует выбрать последний 1 : 2,2 : 5,5, как дающий наименьший расход цемента.

Расход цемента на 1 м³ бетона при этом составе будет:

$$\text{цем} = \frac{1300}{0,60 (1 + 2,2 + 5,5)} \approx 250 \text{ кг,}$$

что является допустимым для железобетона.

2-й способ — назначение составов бетона по готовым таблицам

Предварительно требуется знать:

- 1) необходимую прочность бетона (90, 110 или 130 кг/см²),
- 2) качество цемента (прочность, активность цемента),
- 3) крупность песка,
- 4) крупность щебня,
- 5) необходимую консистенцию (пластичность) бетона, выбранную по таблице, приведенной на стр. 84,
- 6) темп работ, а следовательно и задание на получение необходимой прочности бетона в срок 7 или 28 дней.

После этого возможно назначить состав бетона прямо по приведенным ниже таблицам. Этот состав дан из условия не только технической пригодности для бетона, но и из условия наибольшей дешевизны (наименьшего расхода цемента).

Таблицы для выбора составов бетона основаны на следующих данных:

1. Прочность бетона 90, 110 или 130 кг/см² требуется получить в срок 7 или 28 дней.

2. Качество цемента (активность) может быть:

нормальное 160—200 кг/см²
 выше нормального 220—250 >

3. Крупность песка может быть трех сортов:

III сорт — мелкий }
 II сорт — средний } (см. стр. 75).
 I сорт — крупный }

4. Крупность щебня может быть трех сортов.

5. Пластичность бетона может применяться большая (осадка конуса 12—16 см), средняя (7—12 см) и малая (3—5 см).

6. Составы для бетона возраста 7 и 28 дней даны непосредственно в таблицах при обычных цементах; получить заданную прочность бетона в срок 7 дней при условии применения повышенного или высокосортного цемента с активностью 275 кг/см² и выше можно следующим образом: зная активность имеющегося цемента по табл. 40, определяют, какое водоцементное отношение соответствует заданной прочности бетона, необходимой к получению в установленный срок — 7 дней. Определив водоцементное отношение, прямо по таблицам составов бетона отыскивают состав бетона для заданных прочностей, консистенции и крупности материалов.

Таблица 40

Заданная прочность бетона	Водоцементное отношение	Необходимая активность цемента для получения заданной прочности бетона в срок	
		28 дн.	7 дн.
90	0,75	160—200	270—300
90	0,80	220—250	320—350
110	0,70	160—200	270—300
110	0,75	220—250	320—350
130	0,65	160—200	270—300
130	0,70	220—250	320—350

Бетон марки 110 кг/см² (через 28 дней)

Осадка конуса 8—7 см

Цемент активности 160—200 кг/см²

Серия I

Таблица I

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	1:1,5: 3,5	1:2: 3,5	1:2,5: 3,5	1:2:4	1:2:4,5	1:2,5: 4,5	1:2:4,5	1:2,5: 4,5	1:2,5:5
$\frac{W}{C}$	0,70			0,70			0,70		
Расход цемента в кг/м ³	340	300	280	280	260	245	260	245	235
Расход песка в м ³	0,590	0,470	0,530	0,440	0,420	0,480	0,420	0,480	0,450
Расход гравия в м ³	0,900	0,820	0,750	0,880	0,940	0,860	0,940	0,860	0,900

Бетон марки 110 кг/см² (через 28 дней)

Осадка конуса 7—12 см

Цемент активности 160—200 кг/см²

Серия I

Таблица II

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	нет	1:1,5:3	1:1,5: 3,5	1:1,5:4	1:2:4	1:2,5:4	1:2:4,5	1:2:4,5	1:2,5: 4,5
$\frac{W}{C}$	0,7			0,7			0,7		
Расход цемента в кг/м ³	—	365	340	320	280	260	260	260	245
Расход песка в м ³	—	0,420	0,390	0,370	0,440	0,510	0,420	0,420	0,480
Расход гравия в м ³	—	0,840	0,900	0,980	0,880	0,800	0,940	0,940	0,860

Бетон марки 110 кг/см² (через 28 дней)

Осадка конуса 12—16 см

Цемент активности 160—200 кг/см²

Серия I

Таблица III

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	нет	нет	1:1,5:3	1:1,5:3	1:2:3,5	1:2:4	1:1,5: 3,5	1:2:4	1:2,5:4
$\frac{W}{C}$	0,7			0,7			0,7		
Расход цемента в кг/м ³	—	—	365	365	300	280	340	280	260
Расход песка в м ³	—	—	0,420	0,420	0,470	0,440	0,390	0,440	0,510
Расход гравия в м ³	—	—	0,840	0,840	0,830	0,880	0,900	0,880	0,800

Бетон марки 130 кг/см² (через 28 дней)

Осадка конуса 8—7 см

Цемент активности 160—200 кг/см²

Серия II

Таблица I

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	1:1,5:3	1:1,5: 3,5	1:2:3,5	1:1,5: 3,5	1:2:4	1:2:4,5	1:1,5:4	1:2:4,5	1:2,5: 4,5
$\frac{W}{C}$	0,65			0,65			0,65		
Расход цемента в кг/м ³	365	340	300	340	280	260	320	260	245
Расход песка в м ³	0,420	0,390	0,470	0,390	0,440	0,420	0,370	0,420	0,480
Расход гравия в м ³	0,840	0,900	0,830	0,900	0,880	0,940	0,980	0,940	0,860

Бетон марки 180 кг/см³ (через 28 дней)

Осадка конуса 7—12 см

Цемент активности 160—200 кг/см³

Серия II

Таблица II

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	нет	нет	1:1,5:3	1:1,5:3	1:2:3,5	1:2:4	1:1,5: :3,5	1:2:4	1:2:4,5
$\frac{W}{C}$	0,60			0,60			0,60		
Расход цемента в кг/м ³	—	—	365	365	300	280	340	280	260
Расход песка в м ³	—	—	0,420	0,420	0,470	0,440	0,390	0,440	0,420
Расход гравия в м ³	—	—	0,840	0,840	0,830	0,880	0,900	0,880	0,940

Бетон марки 180 кг/см³ (через 28 дней)

Осадка конуса 12—18 см

Цемент активности 160—200 кг/см³

Серия II

Таблица III

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	нет	нет	нет	1:1,5:3	1:2:3	1:2:3,5	1:1,5: :3,5	1:2:3,5	1:2:4
$\frac{W}{C}$				0,60			0,60		
Расход цемента в кг/м ³	—	—	—	365	320	300	340	300	280
Расход песка в м ³	—	—	—	0,420	0,510	0,470	0,390	0,470	0,440
Расход гравия в м ³	—	—	—	0,840	0,770	0,880	0,900	0,830	0,880

Бетон марки 110 кг/см² (через 7 дней)

Осадка конуса 8—7 см

Цемент активности 160—200 кг/см²

Серия III

Таблица I

Гравия	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	нет	нет	нет	1:1,5:3	1:2:3	1:2:3,5	1:1,5: :3,5	1:2:3,5	1:2,3: :3,5
$\frac{W}{C}$				0,50			0,50		
Расход цемента в кг/м ³	—	—	—	365	320	300	340	300	280
Расход песка в м ³	—	—	—	0,420	0,510	0,470	0,390	0,470	0,530
Расход гравия в м ³	—	—	—	0,840	0,770	0,830	0,900	0,830	0,750

Бетон марки 110 кг/см² (через 7 дней)

Осадка конуса 7—12 см

Цемент активности 160—200 кг/см²

Серия III

Таблица II

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	нет	нет	нет	нет	1:1,5:3	1:2:3	1:1,5:3	1:1,3: :3,5	1:2:3,5
$\frac{W}{C}$				0,50			0,50		
Расход цемента в кг/м ³	—	—	—	—	365	320	365	340	300
Расход песка в м ³	—	—	—	—	0,420	0,510	0,420	0,390	0,470
Расход гравия в м ³	—	—	—	—	0,840	0,770	0,840	0,900	0,830

Бетон марки 110 кг/см² (через 28 дней)

Осадка конуса 8—7 см

Цемент активности 220—250 кг/см²

Серия IV

Таблица I

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
	I мелк.	II средн.	III круп.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	1:1,3:4	1:2:4	1:2,5:4	1:2:4,5	1:2,5: 4,5	1:2,5:5	1:2,5: 4,5	1:2,5:5	1:3:5
$\frac{W}{C}$	0,75			0,75			0,75		
Расход цемента в кг/м ³	320	280	260	260	245	235	245	235	220
Расход песка в м ³	0,370	0,440	0,510	0,420	0,480	0,450	0,480	0,450	0,510
Расход гравия в м ³	0,980	0,880	0,800	0,940	0,860	0,900	0,860	0,900	0,850

Бетон марки 110 кг/см² (через 28 дней)

Осадка конуса 7—12 см

Цемент активности 220—250 кг/см²

Серия IV

Таблица II

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
	I мелк.	II средн.	III круп.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	1:1,3:3	1:1,5:4	1:2:4	1:1,5:4	1:2:4,5	1:2,5: 4,5	1:2:4,5	1:2,5: 4,5	1:3:4,5
$\frac{W}{C}$	0,75			0,75			0,75		
Расход цемента в кг/м ³	365	320	280	320	260	245	260	245	230
Расход песка в м ³	0,420	0,370	0,440	0,370	0,420	0,480	0,420	0,480	0,530
Расход гравия в м ³	0,840	0,980	0,880	0,980	0,940	0,860	0,940	0,860	0,800

Бетон марки 110 кг/см² (через 28 дней)

Осадка конуса 12—18 см

Цемент активности 220—250 кг/см²

Серия IV

Таблица III

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	вет	1:1,5:3	1:2:3,5	1:1,5:4	1:2:4	1:2,5:4	1:2:4	1:2,5:4	1:3:4
$\frac{W}{C}$	0,75			0,75			0,75		
Расход цемента в кг/м ³	—	365	300	320	280	260	280	260	240
Расход песка в м ³	—	0,420	0,470	0,370	0,440	0,510	0,440	0,510	0,550
Расход гравия в м ³	—	0,840	0,820	0,980	0,880	0,800	0,880	0,800	0,730

Бетон марки 130 кг/см² (через 28 дней)

Осадка конуса 3—7 см

Цемент активности 220—250 кг/см²

Серия V

Таблица I

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	1:1,5: 3,5	1:2:3,5	1:2,5: 3,5	1:2:4	1:2:4,5	1:2,5: 4,5	1:2:4	1:2,5: 4,5	1:2,5:5
$\frac{W}{C}$	0,65			0,65			0,65		
Расход цемента в кг/м ³	340	300	280	280	260	245	280	245	235
Расход песка в м ³	0,390	0,470	0,530	0,440	0,420	0,480	0,440	0,480	0,450
Расход гравия в м ³	0,900	0,830	0,750	0,880	0,940	0,860	0,830	0,860	0,900

Бетон марки 180 кг/см³ (через 28 дней)

Осадка конуса 7—12 см

Цемент активности 220—250 кг/см³

Серия V

Таблица II

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	нет	1:1,5:3	1:1,5: :3,5	1:1,5:4	1:2:4	1:2,5:4	1:1,5:4	1:2:4,5	1:2,5: :4,5
$\frac{W}{C}$	0,63			0,63			0,63		
Расход цемента в кг/м ³	—	365	340	320	280	260	320	260	245
Расход песка в м ³	—	0,420	0,390	0,370	0,440	0,510	0,370	0,420	0,480
Расход гравия в м ³	—	0,840	0,900	0,980	0,880	0,800	0,980	0,940	0,860

Бетон марки 180 кг/см³ (через 28 дней)

Осадка конуса 12—18 см

Цемент активности 220—250 кг/см³

Серия V

Таблица III

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II средн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	нет	нет	1:1,5:3	1:1,5:3	1:2:2,5	1:2:4	1:1,5:4	1:2:4	1:2,5:4
$\frac{W}{C}$	0,63			0,63			0,63		
Расход цемента в кг/м ³	—	—	365	365	300	280	320	280	260
Расход песка в м ³	—	—	0,420	0,420	0,470	0,440	0,370	0,440	0,510
Расход гравия в м ³	—	—	0,840	0,840	0,830	0,830	0,980	0,880	0,800

Бетон марки 110 кг/см^3 (через 7 дней)

Осадка конуса 3—7 см

Цемент активности 220—250 кг/см^3

Серия VI

Таблица I

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II ср.едн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	нет	нет	1:1,3:3	1:1,5:3	1:2:3,5	1:2:4	1:1,5:4	1:2:4	1:2,5:4
$\frac{W}{C}$	0,35			0,35			0,35		
Расход цемента в кг/м^3	—	—	365	365	300	280	320	280	260
Расход песка в м^3	—	—	0,420	0,420	0,470	0,440	0,370	0,440	0,510
Расход гравия в м^3	—	—	0,840	0,840	0,830	0,880	0,980	0,880	0,800

Бетон марки 110 кг/см^3 (через 7 дней)

Осадка конуса 7—12 см

Цемент активности 220—250 кг/см^3

Серия VI

Таблица II

Гравий	Мелкий			Средний			Крупный		
Песок	I мелк.	II ср.едн.	III крупн.	I	II	III	I	II	III
Полевой состав	нет	нет	нет	1:1,5:3	1:2:3	1:2:3,5	1:2:3	1:2:3,5	1:2:4
$\frac{W}{C}$				0,35			0,35		
Расход цемента в кг/м^3	—	—	—	365	320	300	320	300	280
Расход песка в м^3	—	—	—	0,420	0,510	0,470	0,510	0,470	0,440
Расход гравия в м^3	—	—	—	0,840	0,770	0,820	0,770	0,880	0,880

Примечания к таблицам.

1. Все составы даны по объему в естественном рыхлом состоянии.
2. Как видно из таблиц, при определенном цементе и пластичности для всех составов бетона количество воды по отношению к весу цемента одинаково. Установлено, что некая отношение воды к цементу (водоцементное отношение) сохраняется постоянным, прочность бетона будет одна и та же.
Добавление воды сверх указанного сильно понижает прочность бетона и потому недопустимо.
3. Для нормального бетона и железобетона прочностью 110—130 кг/см² недопустимы составы бетона более тощие, чем те, где сумма объемов песка и гравия (или щебня) больше 8,5, например:

$$1 : 3,5 : 5.$$

4. При применении щебня вместо гравия $\frac{W}{C}$ увеличивается на 0,05, однако прочность и пластичность бетона остаются такими же, как и при применении гравия.
5. При применении щебня вместо гравия расход всех материалов увеличивается в 1,05 раза.
6. Для более точного выбора составов бетона, чем по вышеприведенным таблицам, в настоящее время инж. И. М. Френкелем (завед. центр. лаборат. бетонов Института сооружений) составлены новые таблицы и графики, которые выйдут отдельным изданием.

Пример. Требуется выбрать состав бетона при задании: прочность бетона 110 кг/см² через 7 дней, осадка конуса 7—12 см, гравий средней крупности, песок крупный, активность цемента 300 кг/см².

По табл. 40 узнаем, что водоцементное отношение должно быть 0,70; по табл. 2 отыскиваем ответ:

состав бетона 1 : 2,5 : 4,

а следовательно и расход материалов на 1 м³ бетона:

цемента	— 260 кг
песка	— 0,510 м ³
щебня	— 0,800 м ³

§ 9. Повышение прочности бетона со временем

Наращение прочности бетона происходит быстро в первые дни твердения, в дальнейшем — замедляется.

Срок в 28 дней, обычно применяемый для характеристики прочности бетона, является совершенно условным, так как нарастание прочности, хотя и более медленное, продолжается и далее в течение многих лет, если имеются благоприятные условия для твердения (достаточная влажность и температура).

Выбор расчетного срока твердения бетона весьма сильно отражается на составе бетона и его стоимости, почему этот выбор должен быть оправдан технически и экономически.

Малый расчетный срок твердения бетона дает быстрый темп работ, ускоряя распалубку и увеличивая оборот опалубки, ускоряя передачу сооружения под нагрузку; однако при этом увеличивается расход цемента; короткие расчетные сроки при выборе составов бетона безусловно необходимы при подвижной и разборной опалубке и при зимних работах (для сокращения срока отепления конструкции). Легче всего достигаются короткие сроки без большой затраты цемента при наличии цементов высокой активности (марки 00 и 000).

Для определения прочности бетона в разные сроки возможно воспользоваться следующими данными:

1. По опытам проф. Залигера, если прочность бетона в возрасте 28 дней принять за 1, то в другие сроки прочность будет составлять:

в 7 дней.....	от 0,55 до 0,90 в среднем 0,75	
28 »	1	» 1
3 мес.	1,18 — 1,50	» 1,25
6 »	1,22 — 1,70	» 1,50
1 год	1,30 — 2,27	» 1,75
2 »	1,42 — 2,73	» 2,00
5 лет.....	1,95 — 3,28	» 2,25

2. По опытам проф. Баха нарастание прочности бетона наблюдалось в течение 6 лет. Американские опыты 1910—1930 гг. показали нарастание прочности бетона в воде, на открытом воздухе и во влажном помещении за 20 лет в 2—3,5 раз в сравнении с 28-дневной.

3. Кривые инж. И. М. Френкеля (Москва), полученные из опытов с различными цементами и бетонами, которые приводятся в конце книги (рис. 60, 61, 62).

4. По Баху прочность бетона в любой срок:

$$\sigma = R_0 \left(1 - \sqrt[3]{\frac{1}{0,3d + 1}} \right),$$

где d — число дней твердений,

R_0 — постоянная, зависящая от состава бетона и условий твердения.

Имеется еще несколько формул для определения прочности в разные сроки, но все они менее удобны, чем формула проф. Баха, так как содержат две постоянных величины, не могущих быть определенными из одного опыта. Наоборот, формула Баха содержит только одну постоянную величину R_0 , почему достаточно произвести только один опыт по определению прочности бетона в какой-либо срок для того, чтобы вычислить прочность в любой другой срок.

Однако вычисления по этой формуле не могут быть точными, так как скорость твердения зависит от состава бетона, водоцементного фактора, способа хранения, сорта цемента и пр. Влажное хранение дает большее нарастание прочности, чем сухое, однако комбинированное хранение показывает еще большую прочность.

Цементы с тонким размолом дают более быстрое нарастание прочности в первые дни твердения, чем размолотые более грубо.

Большие колебания в нарастании прочности подтверждает вышеприведенная таблица проф. Залигера.

Кроме вышеуказанной универсальной формулы проф. Баха имеются формулы для перехода от 7-дневной прочности бетона к 28-дневной, а именно.

1. В нормах рекомендовано:

$$\sigma_{28} = \sigma_7 + 7 \sqrt{\sigma_7}.$$

Эта формула не учитывает различия в цементах, влияния количества воды при затворении бетона, с увеличением которого нарастание прочности замедляется и имеет неодинаковые измерения своих членов.

2. Формула автора:

$$\sigma_{28} = \sigma_7 + \frac{A}{\frac{W}{C}},$$

где A — постоянная, зависящая от сорта цемента:

для нормального портланд-цемента	$A = 80$,
» повышенного »	$A = 80$,
» высокосортного »	$A = 90$,

$\frac{W}{C}$ — водоцементный фактор.

Вышеприведенные формулы относятся к нормальному хранению бетона, т. е. во влажных опилках при температуре 15—20° С. Для ускорения твердения бетона применяется подогрев бетона при помощи пропаривания, электрического нагревания или предварительного подогревания самих материалов для бетона (см. гл. III). Пропаривание тонких бетонных конструкций при температуре 80° С может дать нормальную 28-дневную прочность за 72 часа, а 7-дневную — за 30 час. (подробности см. в работе инж. В. И. Сорокера «Пропаривание бетона», «Строительная промышленность» № 9 за 1932 г.

§ 10. Экономика проектирования составов бетона

В § 8 было указано, что в результате проектирования бетона получается несколько составов, из которых необходимо выбрать наиболее экономичный.

Строго говоря, будет неправильным принять, что наиболее дешевый состав будет тот, которому соответствует наименьший расход цемента. В самом деле, обычно песок является самым дешевым из материалов для бетона, наоборот щебень (гравий), будучи зачастую материалом привозным (на далекое расстояние), может обходиться весьма дорого (дороже цемента на единицу бетона). В таком случае возможно, что состав более жирный (т. е. с большим содержанием цемента) все же будет стоять дешевле, чем состав более тощий, так как в первом можно будет допустить большее соотношение между песком и щебнем (ниже это показано на числовом примере). Это усугубляется еще тем обстоятельством, что составы с большим содержанием песка дают больший выход бетона.

Для исчисления стоимости бетона необходимо знать так называемый «выход бетона».

Выход бетона определяется следующей формулой: если взять 1 часть по объему цемента, m объемных частей песка и n объемных частей щебня, то объем полученного бетона v будет меньше суммы объемов взятых материалов, а именно будет:

$$v = r(1 + m + n); \text{ где } r < 1.$$

Опыты показали, что выход бетона зависит от состава бетона, а именно от соотношения между песком и щебнем $\frac{m}{n}$, увеличиваясь при увеличении $m:n$. Именно при больших соотношениях ($m:n=1:1$) выход бетона получается $r=0,63$ до 0,65, при малых ($m:n=1:2$) $r=0,59$ до 0,61.

Это явление объясняется тем, что при соотношении песка и щебня 1:1 раствор с песком имеется в избыточном количестве и не только заполняет пустоты в щебне, но и раздвигает щебенки, образуя между ними прослойки некоторой толщины.

Кроме того выход бетона зависит от гранулометрического состава добавок; при хорошем составе (следовательно при малом объеме пустот) выход увеличивается. Коэффициент выхода может быть рассчитан по известным объемам пустот материалов и составу бетона или определен на опыте.

При расчетах следует принять выход бетона для соотношений песка и щебня:

1:1	0,64
1:1,5	0,62
1:2	0,60.

Предлагаемые коэффициенты выхода бетона относятся к готовому бетону, т. е. уложенному в формы. Опыты показывают, что при укладке бетона происходит некоторое уплотнение его примерно на 15%; следовательно при расчете выхода бетона из бетономешалки (что может потребоваться при определении емкости транспортных приспособлений для бетона) необходимо вышеприведенные цифры повысить на 15%.

К расчету выхода бетона сделаем на основании данных опытов еще следующее дополнение.

При применении гравия (вместо щебня) благодаря меньшему объему пустот выход бетона повышается до 0,70—0,72.

При известном выходе бетона r расчет количества материалов на 1 м³ готового бетона (бетона в деле) производится по следующим формулам: при составе бетона по объему 1: m : n

$$\begin{aligned} \text{объем цемента } & \frac{1}{r(1+m+n)}, \text{ или вес цемента } \frac{1300}{r(1+m+n)}; \\ \text{объем песка } & \frac{m}{r(1+m+n)}, \\ \text{объем щебня } & \frac{n}{r(1+m+n)}. \end{aligned}$$

По этим же формулам определяют расход материалов на 1 замес объемом v кубических метров, подставляя в числитель вместо единицы v ; также определяется расход материалов на емкость v_1 бетономешалки по формулам:

$$\text{цем.} = \frac{v_1}{1+m+n}; \quad \text{пес.} = \frac{mv_1}{1+m+n}; \quad \text{щерб.} = \frac{nv_1}{1+m+n}.$$

Если обозначить объемный вес цемента c т/м³

принято $c = 1,3$ т/м³

стоимость 1 т цемента — K' руб.

> 1 м³ песка — K'' >

> 1 м³ щебня — K''' > ,

то полная стоимость материалов, идущих на 1 м³ готового бетона, будет:

$$K = \frac{cK' + mK'' + nK'''}{r(1+m+n)}.$$

Продолжим пример проектирования бетона, начатый в § 8. Пусть имеются следующие цены на материалы:

цемент	34,5 руб. за 1 т,
песок (местный)	2 > за 1 м ³
щебень (привозный)	18 > за 1 >.

Тогда стоимость материалов на 1 м³ бетона будет:

¹ Вес 1 м³ цемента принимается равным 1300 кг.

1) для состава 1:2:3

$$K = \frac{1,3 \cdot 34,5 + 2 \cdot 2 + 3 \cdot 18}{0,62 \cdot 6} = 27,6 \text{ руб.}$$

2) для состава 1:2:4

$$K = \frac{1,3 \cdot 34,5 + 2 \cdot 2 + 4 \cdot 18}{0,60 \cdot 7} = 28,8 \text{ руб.}$$

3) для состава 1:2,2:5,5

$$K = \frac{1,3 \cdot 34,5 + 2,2 \cdot 2 + 5,5 \cdot 18}{0,58 \cdot 8,7} = 29,2 \text{ руб.}$$

При данных ценах самый тощий состав получился самым дорогим; это противоречит обычным представлениям и объясняется всецело тем, что этот тощий состав имеет наибольшее соотношение между объемами щебня и песка и больший объем наиболее дорогого материала — щебня.

Если цены на песок и щебень (гравий) не сильно разнятся, то нет надобности производить подсчеты стоимостей различных составов бетона, так как безусловно, состав с наименьшим содержанием цемента (т. е. наиболее тощий состав) будет и самым дешевым.

Заметим однако, что в условиях дефицита цемента понятия о дешевизне и экономичности не совпадают; наиболее экономичным независимо от стоимости будет состав с наименьшим расходом цемента.

Наглядное представление о зависимости стоимости материалов для бетона от состава и соотношения

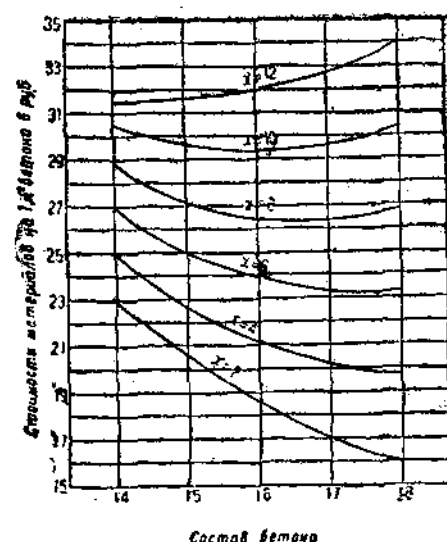


Рис. 49. Кривые стоимости бетона.

между объемами и стоимостью песка и щебня дает составленный график (рис. 49). В качестве примера при составлении графика приняты следующие цены:

1 м³ цемента (K^c)	— 45 руб.
1 » песка ($K^п$)	— 2 »
1 » щебня ($K^ш$)	— 2x »

где x — переменная величина, изменяющаяся в пределах от 1 до 10.

При определении наивыгоднейшего состава бетона вопрос может усложняться наличием разных сортов материалов. Обычно имеется возможность выбора из нескольких сортов цемента, различных песков местных и привозных, различных щебней и пр.

В таком случае необходимо по готовым таблицам для каждой возможной комбинации материалов определить состав бетона, затем рассчитать стоимость каждого и расход цемента и выбрать наивыгоднейший.

Отметим особо большое повышение прочности (до 1,3 раза) и в связи с этим очевидную выгодность применения подбора щебня; необ-

ходимо поэтому ввести подбор щебня как обязательное правило при производстве бетона; отказ от применения подбора щебня может быть допущен только в случае представления каких-либо особых соображений о невыгодности заготовки нескольких сортов щебня по местным условиям.

§ 11. Выбор расчетного срока твердения бетона и расчетной прочности

Обычно составы бетона назначались из условия получения полного заданного временного сопротивления бетона в срок 7 или 28 дней. Однако этот обычай в подавляющем большинстве случаев в практике не оправдывается ни технически ни экономически. В большинстве случаев к сроку 7 или 28 дней необходимы только распалубка сооружения и загрузка его частичной нагрузкой. Расчет железобетонной конструкции показывает, что для возможности распалубки и загрузки примерно двумя третями полезной нагрузки достаточно иметь 80% временного сопротивления бетона, а для загрузки половиной полезной нагрузки — 70%. До момента восприятия полной нагрузки бетон будет обычно иметь еще достаточный срок для твердения и достижения им полной величины временного сопротивления.

Имея в виду, что проектирование составов бетона на 70—80% временного сопротивления может дать значительную экономию в расходе цемента, необходимо точно установить те случаи, при которых возможно такое проектирование.

Для решения этого вопроса необходимо:

1) знать проектное временное сопротивление бетона σ ; определить $\sigma_1 = 0,8\sigma$;

2) задаться сроком распалубки d ; проверить, действительно ли при монтаже оборудования полезная нагрузка будет составлять не более $\frac{2}{3}$ полной полезной нагрузки; подставить значения σ_1 и d в формулу Баха и определить постоянную R_0 ;

3) задаться сроком полной нагрузки сооружения d_0 , подставить его значение и полученное R_0 снова в формулу Баха и определить, какая прочность бетона σ_2 получится к моменту полной загрузки. Если получится $\sigma_2 > \sigma$, то следовательно проектирование составов бетона на 80% прочности вполне допустимо. При $\sigma_2 < \sigma$ приходится оставить старое правило проектирования на полную прочность.

Для облегчения расчетов по формуле Баха приводим табл. 41 для величины, стоящей в скобках.

Таблица 41

Примеры.

1. Задано временное сопротивление бетона $\sigma = 110 \text{ кг/см}^2$. Распалубка и частичная загрузка будут произведены через 7 дней. Полная загрузка — через 28 дней. Определяем R_0 :

$$0,8 \cdot 110 = R_0 \cdot 0,171;$$

$$R_0 = 514;$$

определяем прочность к моменту полного нагружения:

$$\sigma_2 = 514 \cdot 0,310 = 159 \text{ кг/см}^2;$$

$$159 > 110,$$

d в днях	$1 - \sqrt[6]{\frac{1}{0,3d+1}}$
5	0,142
7	0,171
10	0,206
14	0,240
28	0,310
45	0,358
60	0,388

следовательно все условия выполнены. В данном случае можно проектировать бетон на 70% прочности к 7 дням.

2) Задано временное сопротивление бетона $\sigma = 130 \text{ кг/см}^2$.

Распалубка и частичная загрузка через 28 дней.

Полная загрузка через 60 дней.

Определяем R_0 :

$$0,80 \cdot 130 = R_0 \cdot 0,810; R_0 = 335.$$

Прочность к моменту полной загрузки:

$$\sigma_s = 335 \cdot 0,388 = 130 \text{ кг/см}^2,$$

т. е. достигает полной необходимой величины.

Проектирование составов бетона на 70—80% проектной прочности дает реальную экономию цемента в количестве 30—40 кг на каждом 1 м³ бетона. В тех случаях, когда уменьшение расхода цемента не допускается по соображениям плотности, надлежит недостающую часть цемента заменять какой-либо местной добавкой, желательно гидравлической (трепел, трасс), но возможно и инертной (тонкий песок).

Таким образом возможность такого способа проектирования получается почти всегда; необходимо только, чтобы от срока распалубки до полного нагружения сооружения прошел следующий период:

при распалубке в 7 дней полная загрузка не ранее 12—14 дней

» 28 » » 60 дней,

что обычно на практике как раз имеет место.

Первоначальный выбор срока распалубки в 7 или 28 дней связан с подсчетом стоимости опалубки и расхода цемента.

Распалубка через 5 или 7 дней увеличивает оборот опалубки не менее чем в 2 раза и уменьшает во столько же раз ее стоимость; зато требуется увеличение расхода цемента на 1 м³ бетона согласно табл. 42; эта же таблица может служить для составления смет и заявок на материалы.

II Всесоюзная конференция по бетону и железобетону (5—10 февраля 1932 г.) по нашему предложению приняла решение о том, чтобы расход цемента для бетона марки не выше 110 кг/см² был не более 250 кг/м³ бетона, в том числе и для железобетона. Однако для железобетона этот расход цемента одновременно является и минимумом за исключением применения в сооружениях, защищенных от атмосферных явлений, где минимум установлен в 220 кг/м³ бетона.

Решение основано на допущении проектирования составов бетона на 75% проектной прочности, т. е. для обычной марки бетона (110 кг/см²) на 80 кг/см². В тех случаях, когда необходимы особо быстрые распалубка и загрузка сооружения или применение подвижной опалубки, необходимо применение цементов повышенного и высокосортного, а также хлористого кальция в количестве 2—3% от веса цемента. Также необходимо применение повышенного цемента при литом бетоне или при плохих инертных материалах.

Проектирование составов бетона на прочность 80 кг/см² (впредь до выработки готовых таблиц) производится или обычным способом (см. стр. 83), или следующим упрощенным способом: берется состав бетона

при расходе цемента 250 кг/м³

бетон на щебне	состав 1:7 $\frac{1}{2}$
» на гравии	» 1:7;

при расходе цемента 220 кг/м³

бетон на щебне состав 1:8 $\frac{1}{2}$,
 » на гравии » 1:8.

Соотношение между песком и щебнем (или гравием) берется наилучшее, дающее на опыте наименьший водоцементный фактор при заданной пластичности (подробнее см. на стр. 61).

Прочность изготовленного состава бетона проверяется на опыте в возрасте 7 дней и должна быть не ниже 50 кг/см². В случае получения более низкой прочности должны быть применены инертные материалы лучшего качества или цемент повышенный.

§ 12. Опытная проверка результатов проектирования

Выше уже подчеркивалось, что в силу большой неоднородности материалов проектирование бетона по готовым таблицам может иметь только

Таблица 43

Таблица расхода цемента на 1 м³ бетона всех видов в килограммах.

Величина осадки конуса в см (консистенция бетона)	Марка цемента	Марка бетона и железобетона							Марка только бетона		
		через 28 дн.	210	170	130 и выше	130	110	90	65	45	ниже 45
		через 7 дн.	130	110	110	—	—	60	40	—	—
		№	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1—3	0	1	—	320	320*	280	$\frac{220}{250}$	$\frac{220}{180}$	65	45	0
	00	2	270	250	250	$\frac{220}{250}$	—	—	—	—	—
	000	3	$\frac{220}{250}$	$\frac{220}{250}$	$\frac{220}{250}$	—	—	—	—	—	—
7—10	0	4	—	—	—	300	250	$\frac{220}{200}$	100	70	0
	00	5	300	270	270*	250	$\frac{220}{250}$	—	—	—	—
	000	6	250	$\frac{220}{250}$	$\frac{220}{250}$	—	—	—	—	—	—
15—18	0	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	00	8	320	300	300*	270	250	—	—	—	—
	000	9	270	250	250	250	$\frac{230}{250}$	—	—	—	—

Примечания. 1) В графах, где указаны два значения расхода цемента, верхнее значение дано для внутренних, нижнее — для внешних частей сооружений.

2) Марка бетона № 3 предназначена специально для случаев быстрой распалубки, как дающая прочность 110 кг/см² через 7 дней. Расходы цемента для этой марки бетона, превышающие 250 кг и отмеченные значками*, должны быть снижены до 250 кг добавлением 5% для 7 кг хлористого кальция, являющегося ускорителем твердения.

3) Малые расходы цемента, обозначенные значком*, для бетонов марок № 7 и 8, предназначенных только для неармированных бетонов, требуют добавления извести и гидравлических добавок в количестве указанном в приложениях на стр. 177.

4) В марке бетона № 6 расходы цемента в 180 и 200 кг/см³ относятся только к неармированному бетону или к бетону с неответственной арматурой.

5) Таблица дана для среднего качества инертных материалов, однако при применении правил о рациональном выборе составов бетона, изложенных на стр. 177 вышеуказанные расходы цемента не должны быть превышены даже при инертных материалах плохого качества.

ориентировочный характер. Поэтому особую важность приобретает опытная проверка результатов проектирования (она же проводится при способе подбора опытами).

Проверка заключается в изготовлении ряда кубиков определенного состава и испытании их на раздавливание.

Кубики изготавливаются того состава, который выбран по таблице или подобран. Цемент дозируется по весу из расчета объемного веса $1,3 \text{ кг/л}$. Инертные материалы дозируются по объему, но одновременно взвешиваются, благодаря чему сразу определяются и объемные веса.

Необходимо применять инертные материалы, предварительно высушенные для того, чтобы избежать переменной влажности материалов и переменного объемного веса песка. Если щебень применяется из нескольких сортов, то дозировка каждого сорта ведется в отдельности.

С целью получить данные, соответствующие среднему качеству цемента, имеющегося на стройке, рекомендуется предварительно отобрать из партии 3 бочки цемента и высыпать их по частям вперемешку в закрыв (который должен быть совершенно сух). Из этой смеси отбирается заранее проба для производства полного испытания цемента; из нее же изготавлиются и все кубики при проверке проектирования бетона.

Размеры кубиков применяются при щебне крупностью до 40 мм — $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$, при более крупном щебне (до 80 мм) — $30 \times 30 \times 30 \text{ см}$.

Имея в виду ориентировочный характер проектирования по таблицам, необходимо при опытной проверке изготовить образцы не только того состава, который определен по таблице, но и соседних с ним составов, изменив несколько соотношение между песком и щебнем (но не изменяя суммарного состава бетона $1:S$). Так например, если по таблице получился состав $1:3$, то следует еще изготовить близкий к нему состав: $1:2\frac{1}{2}:4\frac{1}{2}$.

Из каждого состава готовится по 9 кубиков, предназначенных для испытания сериями по 3 шт. в сроки 7, 28 и 60 дней.

Нормальным сроком считается 28 дней, но крайне необходимо произвести и 7-дневные испытания и установить переход от них к 28-дневным, так как при производстве работ контроль будет проводиться главным образом по 7-дневным образцам.

Необходимо, чтобы 7- и 28-дневные испытания были произведены до приступа к бетонированию.

В случае если 7-дневные испытания дадут результаты, значительно отклоняющиеся в меньшую сторону от следующей величины:

$$R_7 = R_{28} - \frac{30}{C}$$

где R_{28} — требуемая прочность от бетона через 28 дней,
 $\frac{30}{C}$ — водоцементный фактор,

30 — средний коэффициент, полученный из опытов, и если до начала работ остается небольшой срок, то необходимо, не ожидая результатов 28-дневных испытаний, изготовить образцы новых составов, изменив состав бетона, а именно:

1) постараться уменьшить количество воды, оставляя количество цемента без изменения;

2) уменьшить немного количество песка и увеличить настолько же количество щебня;

3) наконец только в крайнем случае — добавить цемента, т. е. перейти к более жирному составу.

Переход к более жирному или более тощему составу может быть приблизительно сделан и без опыта из условия прямой пропорциональности между прочностью и расходом цемента. При этом процент воды по отношению к сумме объемов материалов и пластичность бетона остаются без изменения. Пример: изготовлен состав бетона 1:2,5:5, который при испытании дал прочность $\sigma = 95 \text{ кг/см}^2$; $\frac{W}{C} = 0,70$; по отношению к сумме

объемов всех материалов вода составляет $\frac{0,70 \cdot 100}{1 + 2,5 + 5} = 8,2\%$; расход

цемента составляет 235 кг/м^3 . Требуется прочность бетона 110 кг/см^2 . Необходимо увеличить расход цемента, исходя из пропорции:

$$\frac{x}{235} = \frac{110}{95}$$

$$\text{откуда } x = \frac{235 \cdot 110}{95} = 280 \text{ кг.}$$

По таблице на стр. 89 такой расход цемента соответствует составу 1:2:4; водоцементный фактор должен быть $\frac{8,2}{100} (1 + 2 + 4) = 0,57$, пластичность бетона остается та же.

Испытания в возрасте 60 дней необходимы для суждения о возможности полной загрузки сооружения.

Для изготовления кубиков размером $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$ делается замес на 3 кубика, при размере $30 \times 30 \times 30 \text{ см}$ на 1 кубик.

Формы применяются разборные чугунные или деревянные, рис. 50, но хорошо промасленные машинным маслом или обитые внутри железом.

Бетон укладывается в формы в два слоя при размере образцов $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$ и в три слоя при размере $30 \times 30 \times 30 \text{ см}$.

Каждый слой уплотняется железным стержнем длиной 75 см и диаметром 1,5 см с закругленным концом. Число протыканий каждого слоя для кубика размером $20 \times 20 \times 20 \text{ см}$ — 56, для кубика $30 \times 30 \times 30 \text{ см}$ — 108; из этого числа половина протыканий относится к краям формы, половина — к середине.

Кубики освобождаются от боковых стенок форм через сутки и оставляются на подкладке еще на сутки. Затем на верхней поверхности кубика ставится краской М и кубик переносится в место хранения, где он осторожно снимается с подкладки.

Хранение кубиков должно производиться при температуре $12-15^\circ \text{C}$ в опилках, постоянно поддерживаемых во влажном состоянии.

Для испытания кубиков на раздавливание необходимы пресса силой до 300 т (рис. 51—52).

Обычно в местных лабораториях на псс ройках не имеется прессов

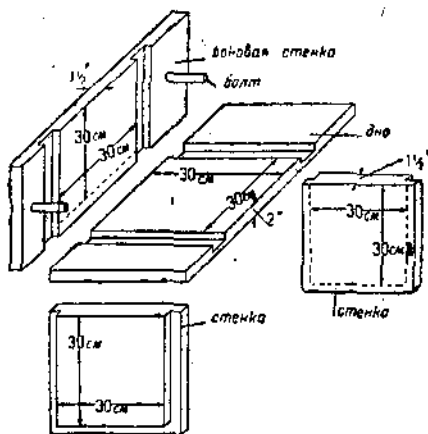


Рис. 50. Формы для кубиков.

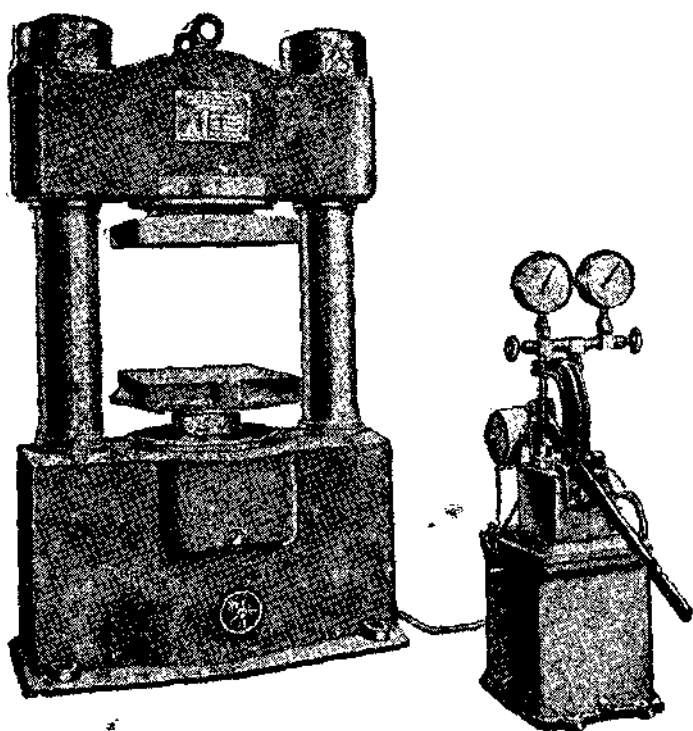


Рис. 51. Пресс для испытаний

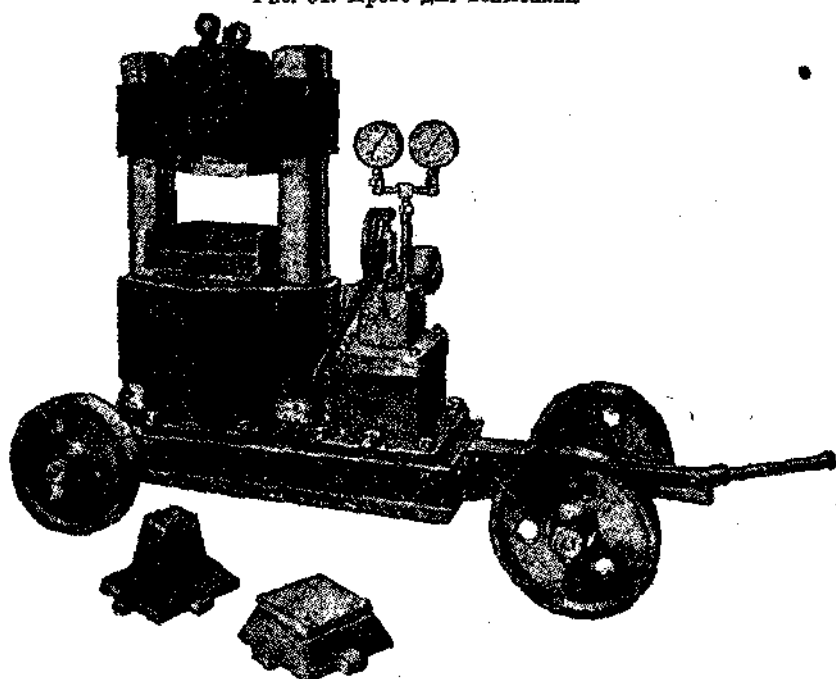


Рис. 52. Пресс для испытания передвижной.

для раздавливания кубиков, почему приходится отсылать их в одну из ближайших постоянных лабораторий.

Отправка кубиков на испытание должна производиться не ранее 4 дней для 7-дневных испытаний и не ранее 14 дней для 28-дневных. Для пересылки кубики укладываются в прочные деревянные ящики с зазором около 5 см между кубиками и стенками ящика, который туго заполняется древесными опилками.

Кубики кладутся под пресс таким образом, чтобы направление сжимающей силы было перпендикулярно к направлению трамбования.

Временное сопротивление определяется при испытании как средняя арифметическая из кубиков одной партии, если колебания в результатах составляют не более 30%. В противном случае низшее из 3 показаний отбрасывается, и результат берется средний из 2 наибольших показаний.

При отсутствии возможности испытывать кубики необходимо вместо кубиков изготавливать бетонные балочки (без арматуры) размерами: длина 120 см поперечное сечение 15×15 см (форма, изображенная на рис. 53). Балочки нужно испытывать на самой постройке, нагружая их одним грузом посередине до разрушения. Если бетон должен иметь прочность на сжатие через 28 дней 90 кг/см^2 , то балочка должна выдержать груз:

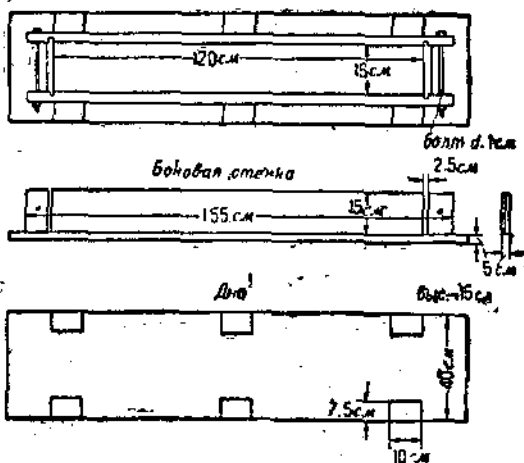


Рис. 53. Форма для балочки.

через 7 дней.....	150 кг
через 28 »	225 »

При бетоне прочности 110 кг/см^2 балочка должна выдержать:

через 7 дней.....	190 кг
через 28 »	275 »

При бетоне прочности 130 кг/см^2 балочка должна выдержать:

через 7 дней.....	220 кг
через 28 »	300 »

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

Условно временное сопротивление изгибу подсчитывается по формуле $\sigma'_0 = \frac{M^1}{W}$, что при данных размерах балки и схеме нагрузки соответствует: $\sigma'_0 = \frac{2P}{45} \text{ кг/см}^2$, где P — груз в кг.

¹ M — изгибающий момент в кг. см,
 W — момент сопротивления в см⁴.

В особо ответственных случаях или при применении каких-либо необычных материалов проектирование бетона по заданию построек может быть выполнено центральной лабораторией Института сооружений или одной из районных лабораторий.

§ 13. Контроль составов бетона на постройках

1. Общие положения

Контроль бетона на постройках осуществляется местными (полевыми) лабораториями. Полевые лаборатории должны быть организованы на всех постройках, где объем бетонных работ превышает 2 тыс. м³, а на ответственных железобетонных работах — и при меньшем объеме бетонной кладки. На более мелких работах контроль бетона ведется упрощенными способами.

Полевая лаборатория должна находиться под постоянным руководством ответственного лица — инженера или техника. В лаборатории должен вестись журнал, один из возможных образцов которого дан в приложении 1.

Находясь в административно-техническом отношении в подчинении администрации постройки, полевая лаборатория должна поддерживать научную связь (путем присылки отчетов и запросов по возникающим вопросам) с районной или центральной лабораторией.

2. Контроль консистенции

Проверка соответствия консистенции бетона на месте укладки, той консистенции, которая задана при проектировании бетона, является одной из важнейших частей контроля бетона.

Проверка должна производиться не менее четырех раз в день способом, изложенным на стр. 42 — 45 с отметкой в журнале лаборатории.

Учитывая большое понижение прочности бетона в связи с разжижением его, полевая лаборатория не должна быть немым свидетелем того нездорового явления, которое иногда наблюдается на постройках: применения бетона совершенно жидкой консистенции (получившего у бетонщиков название «супа»), а должна вести с ним активную борьбу.

Как говорилось выше и как видно наглядно из графика рис. 26, консистенция не определяет вполне прочности бетона, если не будут сохраняться постоянными крупность инертных материалов, их гранулометрический состав и состав бетона. Поэтому одновременно с контролем консистенции должен вестись и постоянный контроль инертных материалов и состава бетона, описанные ниже. Само собою разумеется, что не менее необходим контроль постоянства качества цемента.

3. Контроль материалов

Цемент. Полное испытание цемента производится предварительно до проектирования бетона в одной из ближайших крупных лабораторий, имеющих для этого все необходимое оборудование. Необходимо просить лабораторию произвести испытание не только 28-дневных образцов, но и 7-дневных, так как контроль цемента на постройке, если будет производиться, то главным образом по 7-дневным образцам путем сравнения их с данными предварительного испытания.

Крайне желательно одновременно с нормальным испытанием цемента просить лабораторию произвести испытание этого же цемента с песком данной постройки. Для этого необходимо послать песка в количестве 5 кг. Такое испытание даст наилучшую оценку качества песка с постройки и возможность проверить коэффициент K гранулометрического состава песка (см. стр. 62).

Во время работ контроль цемента ведется в отношении скорости схватывания при помощи иглы Вика, в отношении постоянства объема и прочности на разрыв восьмерок и изгиб балочек.

Все эти испытания ведутся согласно правилам нормальных испытаний цемента (ОСТ 5157), а испытание призмочек, как изложено на стр. 26—27.

Скорость схватывания контролируется не менее одного раза в 2 дня, причем испытывается цемент из той партии, которая предназначена к употреблению на следующий день после испытания.

Начало схватывания должно быть не ранее 30 минут; кроме того между началом и концом схватывания должен быть промежуток не менее 2 час. Цемент, не удовлетворяющий хотя бы одному из этих двух условий, не может быть допущен для обычных бетонных и железобетонных работ.

Испытания тонкости помола, постоянства объема и прочности цемента производятся не реже одного раза в неделю, причем образцы берутся из той партии цемента, которая предназначена к употреблению примерно через неделю. Изготавливается средняя проба из 3 бочек. Образцы для испытания на разрыв (восьмерки из чистого цемента) изготавливаются в количестве 12 шт; из которых 6 шт. испытываются через 7 дней и 6 шт. — через 28 дней. Предварительное суждение о том, отвечает ли качество цемента данным предварительного испытания (которые послужили для проектирования бетона), производится на основании сравнения 7-дневных испытаний. Если эти испытания дают результаты, разнящиеся более чем на 20%, то необходимо изменить состав бетона на основании вышеназванных правил проектирования бетона. Изменение состава может быть достигнуто изменением или количества цемента или модуля крупности смеси инертных материалов.

В случае прибытия на постройку новой партии цемента (хотя бы и одного завода), он должен подвергнуться полному испытанию и не применяться на работах ранее получения 7- или 28-дневных испытаний и внесения коррективы в состав бетона соответственно новой активности цемента.

Цементные заводы при отпавке цемента сопровождают его паспортами согласно приказу НКТП (см. приложение 7).

Заводские паспорта на цемент требуют обязательной проверки.

Инертные материалы. В отношении песка и щебня необходима проверка модулей крупности и зернового состава как периодическая, так и при всех видимых изменениях крупности материалов. Периодическая проверка модулей крупности делается не реже одного раза в неделю. Необходимо также следить за чистотой материалов, производя в сомнительных случаях проверку содержания органических и глинистых примесей методами, изложенными на стр. 216.

В случае применения щебня нескольких сортов по крупности необходима проверка модуля крупности каждого из них.

Если при проверке окажется, что модуль крупности смеси отличается от заданного при проектировании бетона более чем на 5% (в особенно-

сти в меньшую сторону), необходимо изменение состава бетона по правилам, изложенным в главе о проектировании бетона.

Обращаем внимание на следующее обстоятельство: обычно на постройках щебень не делится по сортам, а берется из общего штабеля. В штабеле щебень имеет неоднородную крупность; чередуются места то крупного, то мелкого щебня. Поэтому отдельные замесы будут иметь сильно разнящиеся модули крупности и будут давать весьма неоднородную прочность бетона. А именно мелкий щебень потребует для получения заданной консистенции большего количества воды, и потому бетон даст меньшую прочность, чем при крупном щебне.

Необходимо следить, чтобы в каждый замес попадала смесь крупного и мелкого щебня (примерно 75% крупного и 25% мелкого), что дает повышение прочности бетона (см. стр. 71).

4. Контроль дозировки

Даже в случаях, когда качество материалов не меняется, однородность бетона не будет обеспечена, если не будет постоянства дозировки всех составных частей бетона.

Особенно изменчива дозировка воды и песка.

Количество воды должно даваться в зависимости от веса цемента, идущего на замес, с тем, чтобы выдерживался постоянно заданный заранее водоцементный фактор. Вопрос осложняется тем, что песок содержит в себе довольно значительное и все время меняющееся количество воды. (Что касается щебня, то он на поверхности своих зерен не может удержать значительное количество воды; воду же, впитанную щебнем, не следует учитывать при определении $\frac{W}{C}$ как не участвующую в разжижении цементного теста.)

Определение влаги в песке может быть произведено путем простого высушивания. Однако это определение занимает много времени. Можно предложить весьма простой способ определения влажности песка, выполняемый одновременно с контролем дозировки песка. Способ основан на следующем факте, установленном опытами: сухой песок имеет наибольший объемный вес; с увеличением влажности песок разрыхляется, и объемный вес его уменьшается, но до известного предела (до влажности около 5%), после чего объемный вес снова увеличивается и при некоторой влажности песка возвращается к первоначальному состоянию. Это свойство для некоторых из песков, исследованных лабораторией Института сооружений, изображено на графике рис. 54.

Такой график необходимо начертить на постройке для применяемого песка. Для построения графика производится следующий опыт: мера объема 10 л наполняется сухим песком, затем песок высыпается и к нему прибавляется вода в количестве от 1% и выше (сначала через 1%, а начиная с 5% — через 5%). После перемешивания с водой песок снова укладывается в 10-литровый сосуд, причем весь песок уже не помещается в сосуде, а остается некоторый излишек, измеряемый отдельно при помощи кружек на 2 л, 1 л и 100 см³. Таким образом, зная первоначальный вес песка, можно для каждой влажности определить объемный вес песка и построить график. По этому графику, обратно определяя объемный вес на опыте, получаем влажность песка.

Другой способ определения влажности песка состоит в взвешивании

сырого песка, высушивании и вторичном взвешивании. Само высушивание производится на солнце, на огне или обливанием денатуратом и сжиганием.

Дозировка песка при проектировании бетона в полевой лаборатории ведется по объему в сухом состоянии. На постройке песок обычно будет влажный и с иным объемным весом. Необходим ежедневный контроль объемного веса песка путем насыпания его из штабеля, идущего в этот день на работы, в 10-литровый сосуд и взвешивания.

На основании полученного объемного веса необходимо внести поправку в заданный состав бетона, как указано ниже.

Одновременно с определением объемного веса по вышеописанному графику узнается количество воды, содержащееся в песке, и это количество вычитается из назначенного по расчету на замес.

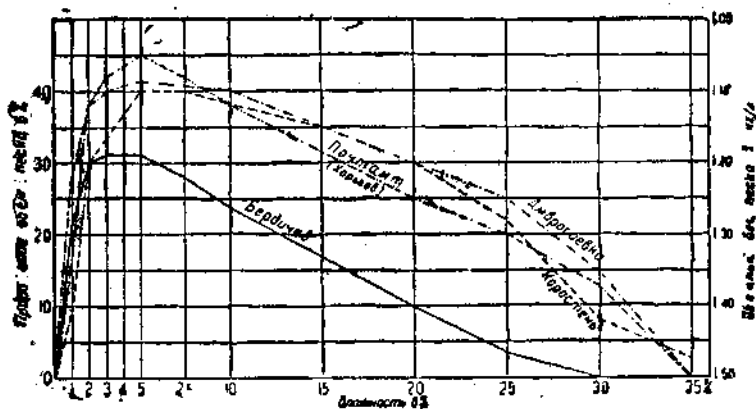


Рис. 54. Изменение объема песка.

Для щебня также необходима проверка объемного веса путем насыпания в 20-литровый сосуд и взвешивания, что должно производиться не реже одного раза в 3 дня.

Мерные ящики, установленные для дозировки песка и щебня и проверки, не могут применяться все время без поправок. Пусть например установлен в начале состав бетона по объему $1:m:n$. Первоначальные объемные веса песка и щебня были a и b . В некоторый момент на работах они изменились на a^1 и b^1 ; тогда состав бетона должен уже применяться следующий:

$$1:m \cdot \frac{a}{a^1}:n \cdot \frac{b}{b^1}.$$

следовательно необходимо изменить мерные ящики или сделать на них пометки для разных объемов и т. п.

Изменение состава бетона в сравнении с заданным необходимо в тех случаях, когда пропорция песка или щебня отличается от заданной более, чем на 10%.

5. Контроль прочности

Кроме ежедневного контроля консистенции, дозировки и материалов, влекущего за собой немедленное внесение поправок в производство бе-

тона, необходима еще заключительная проверка прочности бетона путем раздавливания контрольных кубиков или испытания балочек.

На каждые 250 м³ уложенного бетона должно быть изготовлено не менее одной партии кубиков или балочек. Они изготавливаются и испытываются по правилам, изложенным в § 12. Бетон для образцов берется на месте укладки его в сооружение.

Партия состоит из 9 образцов, из которых 6 хранятся в полевой лаборатории во влажных опилках и испытываются: 3 шт. — через 7 дней, 3 шт. — через 28 дней.

Остальные 3 образца сохраняются в тех же условиях, как и бетон сооружения, а именно: оставляются в формах на постройке (по мере возможности на месте укладки бетона), увлажняются одновременно с бетоном сооружения, предохраняются в той же степени, как сооружение, от температурных влияний и освобождаются от форм одновременно с раскружачиванием сооружения, когда они подлежат испытанию.

В результате этих опытов получится как сравнение бетона, изготовляемого на постройке, с предварительными лабораторными данными, так и определение влияния действительных условий твердения бетона на его прочность.

В заключение ниже в особом параграфе приводим новый вид полевого контроля бетона, который может значительно облегчить эту задачу.

Новый способ не может быть рекомендован в качестве обязательного как мало проверенный еще на постройках. Крайне желательно применение этого метода на постройках и получение о нем отзывов.

6. Полевой метод контроля водоцементного фактора и влажности¹

Полевой контроль бетона в настоящее время ведется путем определения консистенции (конусом Абрамса или столиком). Однако консистенция только тогда непосредственно определяет прочность бетона, когда сохраняются постоянными крупность инертных материалов, их гранулометрический состав и соотношение частей бетона. Эти условия на постройках все время меняются, в особенности последнее (соотношение частей бетона), если дозировка материалов производится по объему. Вот почему было бы весьма целесообразно вести контроль бетона не по консистенции, а по водоцементному фактору. Водоцементный фактор, как известно из работ проф. Абрамса, Беллева и др., довольно однозначно характеризует прочность бетона, лишь в малой степени завися от крупности материалов и пр. Работа контроля при таком методе значительно бы облегчалась, так как к производству бетона предъявлялась бы только одно требование — сохранить первоначально установленный водоцементный фактор $\left(\frac{W}{C}\right)$.

Контроль $\frac{W}{C}$ может вестись двумя способами: 1) вычислением на основании наблюдения количества материалов, идущих на замес, и 2) непосредственным опытом, определяя $\frac{W}{C}$ по выходе бетона из бетономешалки.

¹Впервые был опубликован в журнале „Beton u. Eisen“ 1930, N. 13 в статье Скрам-таева.

Первый способ требует знания точных количеств цемента и воды, идущих на замес. Знать вес цемента при обычной дозировке по объему не всегда представляется возможным; количество воды также не определено в силу меняющейся влажности инертных материалов и частой неисправности бачков, подающих воду в бетономешалку.

Преимущество остается за методом непосредственного опытного определения $\frac{W}{C}$ после изготовления бетона.

Такой метод был автором выработан и проверен в лаборатории украинского Института сооружений.

Название «полевой метод» понимается в том смысле, что он может выполняться полевыми лабораториями по контролю бетона.

При выработке метода были поставлены следующие условия:

1. Для выполнения его не должно требоваться какое-либо сложное и дорогое оборудование (в частности — точные весы).

2. Определение $\frac{W}{C}$ должно занимать всего несколько минут, чтобы иметь возможность немедленно дать указания об изменениях в производстве бетона.

3. $\frac{W}{C}$ определяется, исходя из количества воды, содержащейся только в растворе. Вода, содержащаяся в щебне, не учитывается, так как при обычных твердых породах количество ее весьма мало, а при сильно впитывающих породах все же правильнее вычислять $\frac{W}{C}$ без учета воды в щебне как не участвующей в разжижении цементного теста.

Наш метод контроля $\frac{W}{C}$ основывается на определении влажности раствора. Он же может служить для быстрого определения влажности песка.

Обозначим весовые количества материалов, содержащиеся в определенной навеске раствора (100 г), следующим образом:

цемента	C г
песка	a "
воды	W "

* Влажностью будем называть

$$K = \frac{W}{C + a}$$

Кроме того $a + C + W = 100$ г.

Предположим, что вес песка, содержащегося в растворе, нами каким-либо образом (см. ниже) определен, следовательно a известно.

Тогда из двух написанных выше уравнений определяем 2 неизвестных C и W :

$$C = \frac{100 - a(K + 1)}{K + 1}; \quad W = K \left[a + \frac{100 - a(K + 1)}{K + 1} \right];$$

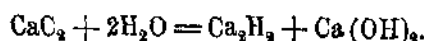
отсюда определяется водоцементный фактор:

$$\frac{W}{C} = K \left(a + \frac{100 - a(K + 1)}{K + 1} \right) \cdot \frac{K + 1}{100 - a(K + 1)} = \frac{100K}{100 - a(K + 1)}.$$

Для определения влажности раствора нельзя воспользоваться простым высушиванием как в силу медленности этого определения, так и вследствие схватывания цемента.

Поэтому предлагаются следующий простой метод и прибор для определения влажности.

Как известно, карбид кальция жадно соединяется с водой, выделяя при этом газ — ацетилен. Реакция идет следующим образом:



На основании подсчета молекулярных весов можно определить, что на 36 частей воды требуется 64 части карбида кальция. Если брать большее количество карбида, чем это требуется по реакции, то количество выделяющегося ацетилена будет пропорционально количеству имеющейся воды в растворе, или при определенной навеске оно будет пропорционально относительной влажности раствора.

Если опыт вести в закрытом сосуде, то выделяющийся ацетилен создает давление, обратно пропорциональное объему сосуда, которое может быть измерено манометром.

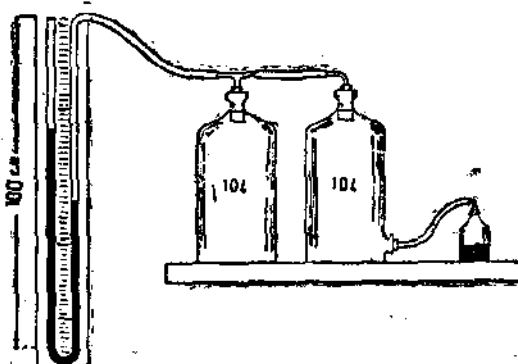


Рис. 55. Прибор для определения влажности.

В предлагаемом приборе (рис. 55) обработка раствора карбидом производится в склянке объемом 250 см³. Для уменьшения давления склянка соединена последовательно с двумя большими склянками (с тубусами) емкостью по 10 л. Последняя из склянок соединена с водяным манометром со шкалой на 100 см (имеется в продаже). Навеска раствора берется 20 г; при водоцементном

факторе $\frac{W}{C} < 1$ давление не превосходит 100 см водяного столба (при больших $\frac{W}{C}$ навеска уменьшается до 15 г). Заведомо достаточное количество порошка карбида будет 30 г.

Ряд произведенных опытов с растворами и песками, имевшими заранее известную влажность, подтвердил, что между относительной влажностью и давлением существует прямая пропорциональность. На графике эта зависимость изображается прямой линией, наклон которой находится в зависимости от имеющейся емкости сосудов в приборе. При применении в других лабораториях сосудов иной емкости необходимо получить свой график, произведя несколько опытов с материалами различной влажности.

Относительно описанного прибора и метода сделаем еще несколько практических замечаний.

1. Расходы на карбид кальция весьма незначительны, так как применяется технический карбид, идущий в автомобильном деле, стоимостью 90 коп. за 1 кг. Так как карбид применяется в заведомо избыточном количестве против нужного по реакции, то его химическая чистота не играет особой роли.

2. Стоимость прибора около 30 руб.

3. Опыт ведется следующим образом: в склянку емкостью 250 см³ кладется несколько круглых сухих камешков, затем она тарируется на весах, и отвешиваются 20 г раствора. В склянку всыпается заранее отвешенный порошок карбида (30 г) и быстро закрывается пробкой, соединенной с остальными частями прибора (во избежание потери газа). Производится встряхивание склянки сначала медленно, а затем быстрее. Камешки, положенные в склянку, способствуют перемешиванию раствора с карбидом. Давление возрастает сначала быстро, а затем все медленнее. Опыт считается законченным, когда давление перестанет расти и когда весь раствор обратится в сухой порошок (заметим, что при опыте происходит довольно сильное нагревание склянки).

4. Отвешивание 20 г раствора производится на обыкновенных столовых весах на 10 мг, имеющихся в полевых лабораториях по бетону. При аккуратном содержании этих весов можно отвешивать с точностью 0,5 г, т. е. с точностью до 2,5%. С такой же точностью будет получаться и содержание воды, а следовательно и давление. Влажность при этом определится с точностью до $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{2}$ %.

5. Обращение с прибором требует известного навыка. Начинаящим опыты рекомендуется вначале изготовить несколько растворов с определенной влажностью и добиться совпадения с графиком. Требуется проверка плотности всех соединений прибора, что доказывалось отсутствием падения давления в манометре после опыта.

6. Карбид кальция следует хранить в герметически закрытом сосуде во избежание порчи его от влаги; не подвергать карбид случайному действию воды.

7. Предлагаемый прибор и метод могут служить для определения влажности — кроме растворов — еще и песка, грунтов, других строительных материалов (кирпича, дерева, штукатурки и пр. в измельченном виде).

Кроме влажности для вычисления водоцементного фактора по вышеприведенной формуле еще требуется определить количество песка a , содержащееся в растворе.

Это достигается простым отмучиванием раствора. Для этого тарируется на весах мерный цилиндр на 250 см³, в который отвешиваются 100 г раствора. Добавляются 150 см³ воды и производится взбалтывание. Частицы песка как более крупные, чем частицы цемента, садятся внизу цилиндра. Производится отстаивание в течение $\frac{1}{4}$ мин., после чего вода с цементом сливается. Сливание производится 2 раза, после чего производится легкое постукивание цилиндра о книгу, и делается отчет объема песка.

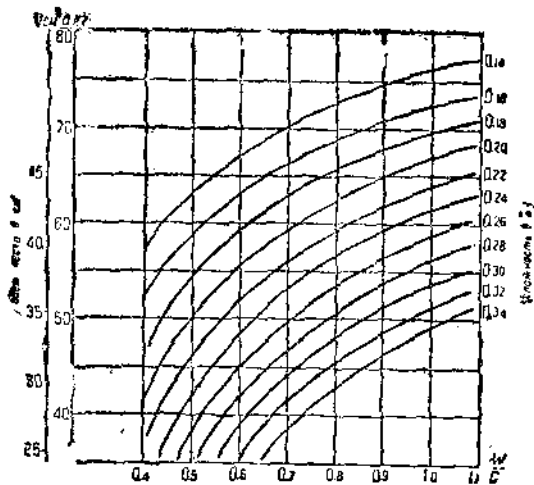


Рис. 53. График для определения $\frac{W}{C}$.

Для вычисления веса песка по определенному объему воспользуемся тем фактом, что песок, насыщенный водой, не изменяет своего объема (в сравнении с песком в рыхлом сухом состоянии). Отсюда следует, что от объема v песка, определенного отстаиванием в цилиндре, можно легко перейти к весу, зная объемный вес песка g в сухом рыхлом состоянии, а именно:

$$a = vg.$$

Объемный вес g определяется заранее взвешиванием сухого песка, насыпанного в цилиндр емкостью 1 л со встряхиванием.

Большинство песков содержит в себе некоторые количества глины; глина будет отмучиваться вместе с цементом, почему возможно, что $a = v\beta g$, где $\beta > 1$.

Рекомендуется в полевых лабораториях поправку β определить опытным путем, составив заранее ряд растворов с песком данной постройки и испытав их на отмучивание.

Вышеприведенная формула получает вид:

$$\frac{W}{C} = \frac{100 K}{100 - v \cdot \beta g (K+1)}.$$

Для того чтобы избежать вычислений, рекомендуется пользоваться прилагаемым графиком (рис. 56), составленным для разных влажностей x и различных количеств песка $v\beta g$. Так как опыт дает непосредственно только объем песка, то необходимо заранее определить величину βg и построить рядом со шкалой $v\beta g$ переходную шкалу для объема v . На нашем графике в качестве примера построена переходная шкала для $\beta g = 1,45$.

Практическое применение изложенного метода к контролю бетона происходит следующим образом: по выходе бетона из бетономешалки из разных мест замеса берется раствор в литровую кружку. Проба относится немедленно в полевую лабораторию и перемешивается. Далее из нее отвешиваются 2 пробы по 20 г в склянках и 2 пробы по 100 г в цилиндрах. Производится двухкратное определение влажности, пользуясь прибором, и двухкратное определение песка отмучиванием. Из двух определений берутся средние результаты, после чего по графику (рис. 56) определяется $\frac{W}{C}$ и сравнивается с заданным.

При известном навыке весь опыт занимает не более 15 мин. Опыты и вычисления показывают, что изложенный метод дает возможность определять $\frac{W}{C}$ с точностью до 5%, что можно считать вполне достаточным.

Кроме изложенного метода инж. Удовенко предложен также метод контроля $\frac{W}{C}$, основанный на отфильтровывании¹, а инж. Франкелем И. М. метод, основанный на введении сахарного раствора, парализующего твердение цемента, высушивании раствора и отсеивании цемента.

К сожалению эти методы требуют для их исполнения продолжительного времени.

¹ См. статью в журн. «Строительная промышленность» № 5, 1931 г.

7. Необходимые принадлежности для лаборатории по бетону

1. Стандартный набор сит для просеивания 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 (с ящиком для хранения)	1 комплект
2. Дополнительные сита: для инертных материалов в мм 25, 30, 50	1 »
» цемента сито в 64, 900 и 4900 <i>отв/см</i> ²	1 »
3. Игла Вика с измерит. густоты теста Тетмейера и никелированным конусом со стеклом (желательно)	1 »
4. Прибор Михаэлиса 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 лопаточка с округленными углами	1 »
7. Сушильный шкаф (термостат) (желательно)	1 »
8. Примуc	1 »
9. Металлическая чашка (кастрюля) для пробы кипячением	1 »
10. Подставка для одновременного кипячения 3 лещек в кастрюле	1 »
11. Ванна металлическая размером 50 × 30 × 10 см	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 »
» 25 »	2 »
» 10 »	2 »
15. Весы до 5 кг с точностью до 1 г с разновесом и гирями 1—500 г	1 штука
16. Весы до 20 кг и гири $\begin{Bmatrix} 1 \text{ кг} & 1 \text{ шт} \\ 2 & 2 \\ 5 & 2 \end{Bmatrix}$	1 комплект
17. Конус (из оцинкованного железа) для определения консистенции	1 штука
18. Столик Скрамтаева для определения консистенции	1 »
19. Совок ручной	1 »
20. Формы металлические (или деревянные) размерами 20 × 20 × 20 или 30 × 30 × 30 см для изготовления бетонных кубиков не менее	6 »
Формы деревянные размером 120 × 15 × 15 см для балочек	3 »
21. Лопаты ручные для приготовления бетона	2 »
22. Брезент или парусина для перемешивания инертных (при отборе проб)	1 »
23. Железные цилиндрические сосуды емкостью 1 л	1 »
» 2 »	1 »
» 5 »	1 »
» 10 »	1 »
» 20 »	1 »
24. Стержни для штыкования диаметром 15 мм длиной 75 см	2 »
25. Трамбовки для изготовления кубиков и трамбования бетона	1 »
26. Сетки для трамбования кубиков пластичного бетона	2 »
27. Металлические (или деревянные) линейки длпл. 40 см	2 »
28. Складной метр	1 »
29. Стеклянные сосуды емкостью в 5 л	2 »
» 3 »	2 »
30. Стеклянные пластинки размером примерно 10 × 10 см	12 »
31. Металлические листы размером 50 × 50 × 0,5 см	2 »
32. Стеклянные воронки	3 »
33. Тарелки металлические	12 »
34. Столовые ножи	2 »
35. Перочинный ножик	1 »
36. Ведро	2 »
37. Окоренки	2 »

38. Вудол для керосина	1 шт.
39. Жестяные воронки	2 »
40. Щетка мягкая для чистки сит	1 »
41. » твердая для чистки оборудования	1 »
42. Едкий натр (NaOH)	В потребном количестве
43. Танин	
44. Алкоголь	
45. Хлористый барий (BaCl_2)	
46. Сернокислый натр (Na_2SO_4)	
47. Вазелин	
48. Лапсусовая бумага	
49. Машинное масло, тряпки	
50. Противень для сушки песка	1 штука

На мелких постройках достаточно иметь только следующее оборудование:

1. Формочки деревянные для изготовления цементных балочек (согласно рис. 58)	2 шт.
2. Кастрюли диаметром 45—50 см	1 »
3. Примус	1 »
4. Вахра	2 »
5. Стекланные пластинки размером 9×12 см	6 »
6. Перочинный и столовый ножи	2 »
7. Стекланный цилиндр с делениями на 250 см ³	1 »
на 500 »	1 »
8. Кольца из проволоки для просеивания щебня диаметром 40, 20, 10 мм (согл. рис. 48)	
9. Весы столовые на 20 кг с гирями	1 »
10. Лопата	1 »
11. Кружка из оцинкованного железа на 1 л	1 »
12. Формы деревянные для кубиков размером $20 \times 20 \times 20$ см (согласно рис. 50)	(желат. 8 » 6 шт.)
Формы деревянные для кубиков размером $30 \times 30 \times 30$ см (согласно рис. 50)	3 »
13. Формы деревянные для балок размером $120 \times 15 \times 15$ см	3 »
14. Железная палка длиной 75 см, диаметром 2 см	1 »
15. Мехоток весом 2 кг	1 »
16. Термометр комнатный	1 »
17. Бумага черная для исследования песка	

Примечание. Принадлежности № 1, 8, 12, 13, 14 изготавливаются на самой постройке, остальные необходимо купить.

§ 14. Особые свойства бетона

Выше излагалось только одно наиболее важное свойство бетона — прочность на сжатие и наряду с ним чисто производственное свойство — пластичность.

Таблица 43

Временн. сопротивл.		Отношение
сжатия $R_{сж}$ кг/см ²	разрыва R_p кг/см ²	
70	7,7	9
140	14,0	10
210	19,2	11
280	23,8	12
350	28,0	12,5
420	32,2	13
490	36,4	13,5
560	40,6	14

Ниже излагаются некоторые особые свойства бетона, необходимые для целей практики.

Что касается прочности бетона на разрыв, то для ориентировочных расчетов может служить следующая сравнительная таблица (табл. 43), показывающая зависимость между прочностью на сжатие и разрыв.

Таким образом прочность бетона на разрыв увеличивается в меньшей степени, чем на сжатие (данные Гоннермана и Шумана, 1928 г.).

1. Плотность бетона и водонепроницаемость

Под плотным раствором понимают такой, в котором все пустоты почти заполнены с некоторым избытком склеивающей массой (т. е. влажнее дрессе + возможная гидравлическая добавка + вода).

Плотный бетон получается, если пустоты в крупной инертной составляющей заполнены плотным раствором. Избыток склеивающей массы или соответственно раствора необходим, чтобы все зерна плотностью окружить (обмазать) и кроме того создать надежность против неравномерности, которая может возникнуть при производстве бетона.

Под плотностью материала d понимают отношение объемного веса к удельному. Значение $u = 1 - d$ называется пористостью или пустотностью. Способы определения пустотности см. на стр. 217.

Плотность цемента составляет (при объемном весе 1,4 и удельном весе $3d = 0,47$): трасса 0,43; песка 0,50 — 0,70; гравия 0,55 — 0,70; щебня 0,45 — 0,55; воды 1,00.

Под коэффициентом заполнения смеси понимают отношение между объемом склеивающей массы и объемом пустот в песке, в растворе и между объемом раствора и объемом пустот в крупной составляющей для бетона. Опытами установлено, что плотными и водонепроницаемыми смесями являются только такие, в которых коэффициент заполнения больше 1,7.

Необходимо например исследовать, является ли бетон в смеси — 1 части цемента, $\frac{1}{2}$ части трасса, $2\frac{1}{2}$ части песка и 5 частей щебня, по объему плотным.

Добавка воды (приняв во внимание собственную влажность инертных материалов) составляет: для раствора 1,15 частей, для бетона 1,45 частей.

Объем склеивающей массы в плотном состоянии составляет:

$$d = \underset{\text{цемент}}{1,0 \cdot 0,47} + \underset{\text{трасса}}{0,5 \cdot 0,43} + \underset{\text{вода}}{1,15 \cdot 1} = 1,84.$$

Объем пустот в песке $u = 2,5 \cdot 0,40 = 1,00$, следовательно коэффициент заполнения равен $1,84 > 1,70$.

В бетоне объем раствора:

$$d_1 = 1,0 \cdot 0,47 + 0,5 \cdot 0,43 + 1,45 \cdot 1 + 2,5 \cdot 0,60 = 3,64.$$

Объем пустот щебня $u_1 = 5,0 \cdot 0,42 = 2,1$, следовательно коэффициент заполнения равен $1,73 > 1,70$.

Вообще хороший песок приблизительно с 35% пустот в смеси 1:4 до 1:4 $\frac{1}{2}$ дает еще плотный бетон, но, с другой стороны, даже жирные смеси в зависимости от свойств добавок и способа переработки могут давать неплотный (следовательно водонепроницаемый) бетон.

Выбором соответствующей жирной смеси возможно всякий бетон сделать в достаточной степени водонепроницаемым. Но так как это дорого и кроме того, так как очень жирные смеси дают большую усадку, пользуются при трамбованном бетоне добавкой уплотняющих средств — извести и трасса (трепела), вследствие чего сравнительно тощие бетоны становятся вполне плотными, или наносят на неплотный бетон водонепроницаемую штукатурку.

Для повышения водонепроницаемости служат кроме того многочисленны (в особенности в Германии) препараты. Они наносятся слоем на поверхности бетона или добавляются в штукатурку, или вводятся в воду

при затвердении бетона, или наконец имеются в самом цементе в измельченном состоянии. Все эти уплотняющие средства являются по большей части битуминозными материалами (асфальт, гудрон, инертол, сиккофикс и др.) или растворами квасцов и мыла или флюатами (содержащими жидкое стекло).

2. Отношение бетона к химическим влияниям

Все разрушения бетона происходят только в присутствии влаги, по большей части под непосредственным влиянием вымывающей воды или другой жидкости. Вредные газы могут оказывать вредное влияние только на сырой бетон. Свежий бетон менее устойчив против всех химических влияний, чем твердевший продолжительное время.

Все основания не оказывают вредного влияния на бетон, так как цемент вследствие выделения извести при гидратации сам обладает щелочной реакцией. В практике часто встречаются известь, щелочные растворы, например калиевые и натриевые (мыловаренные фабрики), затем аммиачные воды (нашатырный спирт), являющиеся главной составной частью газовых вод. В последнем случае требуется осторожность, так как часто имеется загрязнение вредными солями.

Все кислоты за исключением чистых фосфорной и павелевой кислот, которые с известью образуют нерастворимые соли, разрушают бетон, так как образуют с известью цемента растворимые и иногда разбухающие соли. Опаснее всего серная кислота, соляная и азотная, от которых бетон можно защитить только конструктивными мероприятиями, не давая бетону соприкасаться с ними. Немного менее опасны углекислота, сернистая кислота и другие неорганические кислоты.

Разрушение бетона серной кислотой и подобным же образом разрушение всеми сернокислыми солями происходит вследствие того, что серная кислота с известью цемента и его глинозем образуют сильно кристаллизующуюся (с большим количеством воды) двойную соль — сульфалоюминат кальция (так называемая цементная баццлла). При кристаллизации она сильно расширяется в объеме, разрушая бетон. Проникающая в бетон вода вымывает растворимый сульфалоюминат кальция и вызывает окончательный распад бетона.

Из неорганических солей влияют вредно на бетон сульфаты, сульфиты и сульфиды, даже в слабых растворах, в особенности, если они часто обновляются. Считается опасным содержание SO_3 более 300 мг на 1 л воды. В практике чаще всего встречаются: сульфат калия, натрия (глауберова соль), магния, кальция (гипс) и аммония. Все другие растворимые соли аммония также оказывают вредное влияние на бетон.

Из хлоридов опасны: хлористый кальций и хлористый натрий; наоборот опасны: хлористый магний, хлористый аммоний (нашатырь) и хлористая ртуть (сублимат).

Из нитратов разрушает бетон аммониевая селитра (удобрение), в то время как остальные (известковая, калийная и натриевая селитра) невредают.

Карбонаты (например углекислый натрий — сода) и силикаты (натриевое и калиевое жидкое стекло) безвредны, также и фтористые соли; последние служат даже для уплотнения бетона.

Все органические кислоты по большей части вредны для бетона, но в меньшей степени, чем сильные неорганические кислоты.

Поэтому здесь достаточны защитные мероприятия в виде плотного бетона, применения цемента бедных известью, и штукатурки. Чаще всего встречаются следующие органические кислоты: молочная (силовое баки), уксусная, сахар, дубильная (вино и пиво); бетон без особых защитных мер неприменим здесь еще и потому, что со временем может оказывать влияние на вкус жидкостей (это особенно относится к вину). Поэтому необходимо покрытие резервуаров стеклянными плитками, парафином или штукатурка жидким стеклом.

Невредный в химическом смысле алкоголь отнимает от бетона воду, приостанавливает твердение и часто вызывает неплотность бетона.

Все жирные масла и жиры (животные и растительные) оказывают сильно вредное влияние на бетон вследствие того, что жирные кислоты образуют с известью цемента легкорастворимые соли. Напротив минеральные масла и смолы (нефтяные продукты и получаемые путем перегонки угля) невредны, так как они обычно свободны от кислот не содержат. Сюда принадлежат нефть, газولين, бензин, бензол, смазочные масла, мазут, парафин, смолы и т. п. При устройстве резервуаров для легких продуктов, например бензина, легко проникающих через бетон, требуется принятие особых мер, например устройство штукатурки жидким стеклом.

Влияние на бетон морской воды определяется содержанием в ней растворимых солей, из которых оказывают вредное влияние хлормагний и сульфат магния. Разрушение бетона от морской воды происходит главным образом в силу образования сильно разбухающего сульфата алюмината кальция. Не меньшее, а зачастую и большее влияние на разрушение бетона оказывают физические и механические причины — мороз, удары волн, ледоход. Поэтому, наряду с созданием плотного бетона и выбором соответствующего сорта цемента, необходимо применение конструктивных мер — создание наименьшей поверхности, подверженной ударам, и т. п.

В последнее время исследования закавказского Института сооружений (А. А. Садовский) показали, что большое влияние на бетон в море оказывают биологические факторы — растительные и животные обрастания. Предварительными опытами установлено, что бетонные массивы, подвергшиеся животному обрастанию, разрушаются химически; наоборот, растительные обрастания предохраняют бетон от разрушения. Разрушение связано с выделением животными свободной углекислоты¹; под влиянием углекислоты происходит сначала карбонизация извести, образующейся при гидратации цемента, а затем образование кислого углекислого кальция, легко растворимого и вымываемого водой. Так как свежий бетон особенно сильно поддается действию разрушающих влияний, целесообразно применение заранее выдержанных бетонных блоков. Для работ в морской воде рекомендуются цементы, бедные известью. При применении портланд-цемента необходимо добавление пуццолана; хороший бетон должен иметь не менее 300 кг цемента и 120—150 кг пуццолана на 1 м³ бетона.

При возведении бетонных сооружений в болотной и торфяниковой водах необходима осторожность, так как в них содержатся гумусовые кислоты, иногда серноислые соединения.

В сооружениях, проводящих канализационные воды, на стенках

¹ См. книгу закавказского Института сооружений, «Бетон в море», изд. 1932 г.

быстро образуется коллоидальный илистый налет, предохраняющий бетон от возможных химических влияний. Вредными являются только сточные воды с большим содержанием кислот, получающиеся на некоторых заводах. При выпуске такой вод в канализацию необходимо разбавление их водой, бетонные сооружения в этих случаях должны облицовываться кислотоупорным клинкером. Это же мероприятие необходимо в случае, если сточная вода несет с собой песок, оказывающий сильное истирающее влияние на бетон.

Химическое влияние на бетон дымовых газов наблюдается в паровозных депо, железнодорожных мостах и тоннелях; разрушение вызывается содержащейся в газах сернистой кислотой; разрушение может происходить только во влажном бетоне; обыкновенно разрушение ограничивается только поверхностным слоем за исключением случаев, когда вследствие плохой изоляции бетон насквозь сырой.

Защитная мера — просушивание.

Защитные мероприятия для бетона против химических влияний

1. Правильное конструирование, недопускающее появления трещин от действия внешних сил, температуры или усадки; эти трещины обычно служат и местами химических разрушений.

2. Выбор цемента, бедного известью, или введение пуццолановых добавок (сюда относятся: цементы шлако-портланд, пуццолановые и глинозистые).

3. Введение в бетон уплотняющих веществ: пуццолан или патентованных средств — эмульсий (битуминозных, мыльных, флюатирующих и т. п. — церезит, сика, трикозаль и др.). Все эти средства более или менее достигают своей цели, но дороги и иногда вызывают понижение прочности бетона; целесообразнее пойти на увеличение жирности раствора, дающее одновременно и повышение плотности и прочности бетона; механическое уплотнение бетона.

4. Штукатурка с затиркой и покрытие битуминозными материалами, в частности патентованными средствами (инертоль и др.).

5. Флюатирование специальными составами, а при слабых кислотах покрытие просто жидким стеклом.

6. Покрытие в несколько слоев бумагой, пропитанной битумами (для защиты от грунтовых вод).

7. Покрытие кислотоупорными плитками или клинкером, выложенными на кислотоупорной замазке; обычно замазка составляется из размолотого кварцевого песка и жидкого стекла с небольшой добавкой кремнефтористого натрия.

8. Применение кислотоупорного бетона, данные о котором приведены на стр. 168.

3. Воздухонепроницаемость бетона

В редких случаях требуется от бетона воздухонепроницаемость (каупера, газгольдеры и т. п.). По большей части довольствуются плотными смесями и нанесением плотной штукатурки с затиркой. Однако такой бетон не будет вполне воздухонепроницаемым, так как по опытам А. Ланга всякий сухой бетон, даже сделанный из чистого цемента, в незначительной степени воздухопроницаем. Наоборот, влажный бетон может рас-

считаться как воздухопроницаемый. Если для некоторых определенных сооружений требуется полная и постоянная воздухопроницаемость, то необходимо устройство с одной стороны постоянного орошения бетонной стены или добавление к бетону безвредных, но сильно гигроскопичных препаратов (например хлористый кальций), благодаря которым бетон будет постоянно влажным.

4. Звукопроводность бетона

Свойство звукопроницаемости бетона важно в случаях применения его в жилых и некоторых фабричных зданиях. Тонкие бетонные перекрытия без особых конструктивных мероприятий являются весьма звукопроводными. Однако конструктивными мерами можно добиться того, что бетонные перекрытия смогут конкурировать в отношении звукопроводности с деревянными. Меры состоят в полном отделении пола от перекрытия слоем песка, шлака, бумаги и т. п., в разделении изолирующими слоями частей перекрытий над отдельными комнатами, в изоляции мест опирания перекрытия на промежуточные стены и т. п.

5. Изнашиваемость бетона

Это свойство играет роль для бетонных полов, ступеней и т. п. Изнашивание не находится в прямой зависимости с прочностью. Само собой разумеется, что жирные и плотные бетоны оказывают значительно большее сопротивление изнашиванию, чем тонкие. Но решающее значение имеет выбор надлежащих инертных материалов — большой твердости, нехрупких. Изнашивание различных видов бетона испытывается обработкой образцов песчаной струей или на круге истирания. Повышение сопротивления изнашиванию также достигается введением в бетон при его изготовлении стальной стружки, предварительно очищенной от масла (см. в гл. VI, Сталебетон и др.).

6. Отношение бетона к электрическому току

По имевшимся опытам (Heft 6 и 15 1911/12 г. Deutscher Ausschuss für Eisenbeton) бетон обладает большим электрическим сопротивлением в сухом состоянии, которое значительно уменьшается с повышением влажности. Переменный ток не оказывает влияния на бетон, наоборот, постоянный ток при влажном бетоне вследствие электролиза образует ржавчину на железе, могущую вызвать разрушение ближайшего слоя бетона. В этих случаях необходима хорошая изоляция бетона как от тока, так и от сырости.

Переменный ток используется в настоящее время для нагревания бетона при зимних работах и вообще для ускорения твердения.

7. Огнестойкость

Огнестойкость имеет большое значение при постройке бетонных дымовых труб, сборных бетонных печей и при пожарах, когда температура может достигать 1200° С.

Исследования д-ра Энделя (Berlin, опубликованы в вып. № 60 «Deutsch. Ausschuss») показали, что наибольшее влияние на огнестойкость оказывает род инертной добавки.

При температурах больших 700°C не следует применять добавки, содержащие кварц (песчаник, кварцит, гранит), так как последний сильно увеличивает свой объем.

Очевидно, что также невозможно применение известняка.

Следует применять при высоких температурах базальт, диабаз, но лучше всего доменный шлак, дающий даже при 1100°C ничтожное и равномерное расширение.

Обычный бетон, начиная с температуры 70°C дает падение прочности, достигающее при $200^{\circ}\text{—}50\%$ прочности. Это падение не является катастрофическим, т. е. не увеличивается со временем. Все же следует предохранять бетон от температуры выше 70°C или, если это невозможно, учитывать неизбежную потерю прочности при проектировании составов бетона.

8. Морозоустойчивость

см. гл. V, 26 — бетон для гидротехнического строительства.

9. Усадка бетона

Процесс твердения бетона, в зависимости от условий, в которых он протекает, сопровождается изменением объема бетона, а именно: при твердении на воздухе бетон получает усадку, при твердении в воде он разбухает. Однако это справедливо только для небольших объемов бетона. В больших бетонных массивах, как показали исследования проф. Ю. А. Нилендера над плотиной Днепростроя, имеет место значительное расширение бетона вследствие его нагревания (внутреннее выделение тепла), значительно превосходящее усадку.

Сам механизм явления усадки еще не имеет достаточно четкого объяснения. Когда при приготовлении раствора цемент приходит в соприкосновение с водой, частицы цемента растворяются в воде и образуют коллоид, или так называемый «гель». Гель, образовавшийся гидратацией первых порций активных частиц цемента, содержит избыточное количество воды. Дальнейшее разложение цементных частиц происходит уже гораздо медленнее за счет воды, поглощенной при первоначальном образовании коллоида. Чем дальше идет этот процесс, тем, естественно, меньше его скорость. Коллоид обезвоживается, сжимается и твердеет¹. Таким образом усадка (сжатие) бетона является неизбежным спутником твердения.

Количество воды, взятой для приготовления бетона, имеет существенное влияние на процесс твердения, а стало быть и на усадку. Для того чтобы бетон имел консистенцию, удобную для работы, приходится брать воды более того количества, которое необходимо для гидратации цемента. Избыток воды, особенно при интенсивном перемешивании бетона, разбавляет гель и делает его менее прочным. Это доказывается между прочим и известным опытным законом Абрамса: прочность бетона убывает с ростом водоцементного фактора. Усадка бетона при избытке воды происходит в начале процесса с большой интенсивностью.

В общем явление усадки главным образом зависит от качества употребляемого в дело цемента и от величины водоцементного фактора. Вместе с тем на величину усадки оказывают влияние и характер инерт-

¹ Проф. Кюль, Очерки химии цемента, журн. «Строительные материалы» № 2, 1930.

ных материалов и условия твердения бетона. На основании опытов можно сделать следующие выводы¹:

- 1) усадка бетона тем больше, чем жирнее бетон,
- 2) быстро схватывающиеся и высокосортные цементы увеличивают усадку бетона,
- 3) усадка больше для мелкозернистого и пористого песка и пористого балласта,
- 4) влажный режим твердения и покрытия бетона парализуют быстрое высыхание его с поверхности и тем предупреждают вредные последствия неравномерной усадки (образование трещин).

Изучение усадки приводит к следующим выводам:

1) В первые часы и дни явление усадки обычно протекает незакономерно; ему мешает расширение бетонной массы, которое происходит от повышения температуры при образовании геля. Общее течение усадки выражается плавной кривой, причем интенсивное нарастание усадки наблюдается обычно в течение первого года твердения бетона; далее рост усадки становится весьма медленным, и все явление приобретает асимптотический характер. Ввиду этого усадку в течение первого года твердения нередко принимают за меру изменения объема бетона; усадка в первые три месяца равна примерно последующей полугодовой.

2) Что касается количественной оценки величины усадки, то опытные данные в этом отношении недостаточно устойчивы и разноречивы. Наши нормы устанавливают для коэффициента усадки величину $\epsilon = 0,0001$, т. е. 0,1 мм на 1 пог. м. Так как явление усадки бетона разнозначно действии равномерного охлаждения бетонной массы, а коэффициент температурного расширения бетона принимается равным $\alpha = 0,00001 = 0,1$ е, то можно сказать, что по нашим нормам усадка бетона эквивалентна понижению температуры на 10° . По германским нормам влияние усадки на статически неопределимые величины в конструкциях принимается эквивалентным понижению температуры: на 15°C в рамных конструкциях и арках с обычной арматурой и на 20°C при коэффициенте армирования, меньшем 0,5%.

10. Изменение упругости бетона

Одновременно с возрастанием прочности бетона (т. е. его временного сопротивления сжатию) естественно происходит изменение и в его упругих свойствах.

Для характеристики упругих деформаций материала обычно вводят величину его модуля упругости E , т. е. отношения между напряжением и соответствующей деформацией. По отношению к бетону важно отметить следующие два обстоятельства.

1. Бетон не обладает совершенной упругостью; полная деформация его состоит из двух частей: упругой и остающейся. Поэтому величина модуля упругости может получиться различно, в зависимости от того, какая именно деформация вводится в рассмотрение: полная или упругая. Для выяснения напряжений в железобетонных конструкциях при постоянной нагрузке принято учитывать полную деформацию бетона.

¹ Проф. Философов и Шепетов, Усадка и расширение бетона во время твердения, журн. «Строительные материалы» № 2, 1930.

2. Бетон имеет не постоянный, а переменный модуль упругости; величина его меняется с напряжением, а именно убывает с ростом напряжений. Применяя закон Гука для бетона в расчетах железобетонных конструкций, вводят условную величину для модуля упругости E_0 или

отношение $n = \frac{E_{\pi}}{E_0}$ между модулями упругости железа и бетона. Принятое

нашими нормами число n , равное 15, отвечает весьма высоким напряжениям сжатия в бетоне, гораздо большим, чем обычно допускаются в конструкциях. В некоторых нормах (например французских) для числа n даются широкие пределы: $n = 5$ до 20; с одной стороны, это дает большую гибкость применяемым формулам, с другой, — вводит неопределенность в практические расчеты. На основании многих лабораторных опытов гораздо правильнее принимать при расчете элементов на сжатие n равным 10. На I Международном конгрессе по бетону и железобетону в Льеже в 1930 г. проф. Кёз так же доказывал, что принятие n равным 10 при расчетах на сжатие и изгиб дает наилучшее согласование вычисленных напряжений в бетоне и арматуре с действительными найденными из опыта.

На основании опытных данных среднюю величину модуля упругости E_0 связывают с временным сопротивлением бетона σ_0 . Эта связь установлена рядом эмпирических формул. Например формулой Штутгартской лаборатории:

$$E_0 = \frac{1\,000\,000}{1,7 + \frac{360}{\sigma_0}},$$

которая отвечает учету полной деформации бетона; при учете лишь упругой части деформации вместо коэффициента 360 надо поставить 300.

ГЛАВА III

БЕТОН ДЛЯ ЗИМНИХ РАБОТ

§ 15. Остывание бетона (расчет)

Выбор метода бетонирования в зимнее время достаточно освещен техническими условиями и литературой.

На первом месте по технической и экономической целесообразности стоит способ бетонирования без тепляков, в применении ко всем видам конструкций.

Это способ для своего осуществления требует укладки подогретого бетона в утепленную опалубку или применения пропаривания или электрического обогрева бетона.

Электронагревание и пропаривание требуют довольно сложного оборудования, почему первый способ (утепления опалубки) получил большее распространение.

Для обоснования выбора бестеплячного способа бетонирования необходимы расчеты двух видов: 1) расчет остывания бетона после укладки и 2) расчет состава бетона.

В литературе имелась только попытка дать расчет остывания бетона, причем этот расчет предлагался весьма сложный (проф. Кириенко). О выборе составов бетона для зимних работ данных почти не имелось. Кроме того не было отмечено, что вышеуказанные два вида расчетов тесно связаны между собой. В настоящей книге даются два вида расчетов.

Основной задачей при расчете остывания бетона является выяснение вопроса о том, сколько суток сохранится в некоторой точке внутри или на поверхности бетонной конструкции температура выше $+0^{\circ}\text{C}$, так как практически можно считать твердение бетона при более низкой температуре прекращающимся.

Для обеспечения возможности бетонирования без тепляков должно быть обеспечено твердение бетона в теплой среде в течение следующего срока: а) 3 суток, предохраняющих бетон от большой потери прочности, в случае если сооружение остается в опалубке до весны, б) не менее 3 суток для возможности снятия боковой опалубки колонн и массивов при обычном бетоне, достигающем расчетной прочности в нормальных условиях через 28 дней, в) не менее 5 суток для распалубки сооружения и возможности загрузки непосредственно после распалубки половиной расчетной нагрузки при обязательном применении 7-дневного бетона (т. е. достигающего расчетной прочности в нормальных условиях через 7 дней).

Вопрос о том, к какой точке бетона (под опалубкой или на некоторой глубине) относить тепловой расчет с соблюдением условия, чтобы

этой точке температура не опустилась ниже $+0^{\circ}\text{C}$, излагается ниже.
 Все расчеты относим к 1 м^3 бетона.
 Количество тепла, заключенное в подогретом бетоне (1 м^3) с момента
 его укладки до охлаждения до $+0^{\circ}\text{C}$, следующее:

$$2400 \cdot 0,25 t_6 = 600 t_6 \text{ кал,}$$

где 2400 в кг/м^3 — объемный вес сырого бетона,
 $0,25$ — удельный коэффициент теплоемкости,
 t_6 — температура бетона при укладке.

Количество тепла, выделяемое цементом при схватывании (так назы-
 ваемая экзотермия), за все время твердения бетона Σ составляет:

	На 1 м^3 цемента марки 0	
Если бетон охлаждался с температуры $20-30^{\circ}$ до $+0^{\circ}\text{C}$ в течение не менее 3 суток	85 кал	45 кал
от 2 до 3 суток	25 >	80 >
от 1 до 2 >	18 >	22 >
менее 1 >	0-12 >	15 >

Если бетон охлаждается с температуры $10-15^{\circ}$ до $+0^{\circ}\text{C}$, то все
 цифры уменьшаются в 1,5 раза.

Общее количество тепла, заключенное в 1 м^3 бетона при расходе
 цемента Π :

$$Q = 600 (t_6 - 5) + \Sigma \Pi. \quad (1)$$

Потеря тепла 1 м^3 бетона за время остывания с тем-
 пературы t_6 до температуры $+0^{\circ}\text{C}$.

$$Q = \frac{F}{v} \cdot \frac{24x \cdot (t_{\text{ср6}} - t_n)}{R_{\text{сб}}} \quad (2)$$

где F — охлаждающаяся поверхность бетона в м^2 (поверхность, соприка-
 сающаяся с прогретой, в подсчет не входит);

v — объем бетона в м^3 , укладываемого в один прием;

x — число суток; 24 x — число часов;

$t_{\text{ср6}}$ — средняя температура бетона за период остывания с t_6 до $+0^{\circ}\text{C}$,
 она принимается в зависимости от вида кривой остывания, а
 именно:

при тонких конструкциях

$$t_{\text{ср6}} = \frac{t_6}{3},$$

при средних

$$t_{\text{ср6}} = \frac{t_6}{2},$$

при массивных

$$t_{\text{ср6}} = \frac{t_6 + 5}{2},$$

t_n — средняя температура наружного воздуха.

t_6 — температура бетона при укладке.

$R_{\text{сб}}$ — общее термическое сопротивление; оно вычисляется по следующей
 формуле:

$$R_{\text{сб}} = 0,05 + \frac{a_1}{\lambda_1} + \frac{a_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{a_n}{\lambda_n} \dots (3)$$

— сопротивление теплоотдаче,

— сопротивление отдельных слоев опалубки и изоляции:

... α_n — толщина слоев опалубки и изоляции в метрах;

... λ_n — коэффициенты теплопроводности отдельных слоев опалубки и изоляции, величины которых берутся из таблицы 44.

Примечание. В случае большой продуваемости изоляции берется 0,80—0,90 R_{00} ; при плотной опалубке и покрытии ее толем R_{00} не уменьшается.

Зная формулой (1) и (2), по числу суток, в течение которой в заданной точке будет поддерживаться температура выше $+0^\circ\text{C}$, а именно:

2-х вышеприведенных формул является x — число часов, в течение которых бетон твердел в среде, остывая с температурой $+0^\circ\text{C}$.

$$x = \frac{600 t_0 + C \cdot \alpha}{\frac{R}{v} \cdot (t_{\text{срб}} - t_n) 24} \cdot R_{00} \quad (4)$$

Примечание. Если при выведении числа часов x получится больше 72 час., то делается пере-

счит, принимая более подогретый бетон (до 50°C) или лучшую изоляцию. Введение в бетон тонко размолотой негашеной извести для увеличения количества тепла, выделяемого внутри бетона (1 кг извести может выделять при гашении до 300 ккал), еще не проверено на производстве.

Недостающее для твердения количество тепла может быть покрыто электрическим нагреванием бетона (по расчету).

Для расчета по выведенной формуле необходимо знать размеры конструкции, задаться температурными условиями (температурой наружного воздуха и бетона в укладке — последняя не выше 50°C) и задаться типом опалубки и изоляции.

Однако при этом еще остается неизвестным, для какой точки бетона производить расчет.

Проще всего произвести расчет на поверхности бетона (непосредственно опалубкой), но это было бы во многих случаях невыгодным. Наружный слой бетона в некоторых конструкциях можно считать за изоляцию, допустив в нем более раннее охлаждение бетона, чем в средней части, но следовательно допустив и потерю прочности.

Назначение толщины бетонного слоя, подвергаемого раннему охлаждению, зависит от типа конструкции, а именно:

а) в массивных конструкциях может быть принято от 10 до 20 см с тем, чтобы в крайнем случае этот слой мог быть впоследствии снят или оштукатурен;

б) в балках и плитах толщина замораживаемого слоя должна быть равна 0, так как этот слой совпадал бы с наиболее напряженной частью с арматурой, ослабляя ее сцепление с бетоном;

Таблица 44

Материалы	$\lambda \frac{\text{ккал}}{\text{м град час}}$
Бетон сырой	1,50
» шлаковый	0,50
Лед	2,00
Кирпич	0,70
Песок сухой	0,27
Шлаковая засыпка	0,20
Камышит	0,16
Соломит	0,08
Шевелит	0,35
Войлок	0,04
Торфяные плиты	0,05
Фибралит	0,12
Опалубка	0,15
Опилки	0,03

в) в колоннах с преобладающим сжатием грубо возможно принять, что слой бетона, допускаемый к охлаждению, может составлять не более 15%, площади сечения колонны ω , т. е. толщина слоя

$$X = \frac{0,15\omega}{S}, \quad (5)$$

где S — периметр колонны.

Предлагаемый способ расчета охлаждения является конечно весьма грубым.

Однако этот способ весьма прост и дает совпадение в результатах, обнаруженное при сличении с наблюдениями на Магнитострое в 1930/31 г. инж. В. И. Сорокера, с опытами ВИСа и др.

Приводим примеры расчета охлаждения.

Пример 1-й. Бетонируется массив размером $5 \times 5 \times 2$ м; $v = 50$ м³; $F = 65$ м²; $t_0 = +25^\circ \text{C}$; $t_n = -15^\circ \text{C}$; опалубка обычная толщиной 50 мм. Слой бетона, допускаемый к раннему охлаждению, принят в 20 см.

$$\frac{F}{v} = \frac{65}{50} = 1,3.$$

Применяем для расчета формулы (3) и (4):

$$R_{\text{сб}} = 0,05 + \frac{0,05}{0,15} + \frac{0,20}{1,50} = 0,52;$$

$$X = \frac{600 \cdot 25 + 250 \cdot 35}{1,3 \left(\frac{25 + 5}{2} + 15 \right) 24} \cdot 0,52 = 11 \text{ суток},$$

так как тепло в бетоне продержится 11 суток, то достаточен обычный бетон (28-дневный).

Пример 2-й. Колонна поперечного сечения $1,20 \times 0,80$ м; на 1 поз. м $v = 0,96$ м³; $F = 4$ м²; $t_0 = 40^\circ \text{C}$; $t_n = -15^\circ \text{C}$; $\frac{F}{v} = 4 : 0,96 = 4,16$; опалубка двойная толщиной 50 мм; слой бетона, допускаемый к охлаждению:

$$X = \frac{0,15F}{S} = \frac{0,15 \cdot 0,96}{4} \approx 4 \text{ см};$$

$$R_{\text{сб}} = 0,05 + \frac{0,05}{0,15} + \frac{0,04}{1,10} = 0,42;$$

$$X = \frac{600 (\cdot 40) + 250 \cdot 35}{4,16 \left(\frac{40}{3} + 15 \right) 24} \cdot 0,42 = 3,6 \text{ суток};$$

такой срок недостаточен для загрузки колонны даже частичной нагрузкой; необходимо применять хорошую изоляцию.

Дополнение. Расчет потери тепла при соприкосании бетона с замерзшим грунтом.

Этот случай имеет большое значение при бетонировании зимой бетонных дорог, полов и фундаментов.

Расчет делается на 1 м² площади соприкосания с грунтом. Пренебрегать потерей тепла через грунт не следует, особенно для тонких бетонных плит.

Средняя температура остывающего бетона принимается:

$$t'_6 = \frac{t_6}{2},$$

где t_6 — температура при укладке.

Учитывается расход тепла на оттаивание только части грунта, ближайшей к бетону, а именно в пределах отогревания до 0°C . Распределение температур и запаса тепла в слоях грунта принимается по закону треугольника.

В таком случае расход тепла:

$$W = \lambda \frac{24x(t'_6 - \frac{2}{3}t'_6)}{h/3} = \frac{\lambda \cdot 24x \cdot t'_6}{h},$$

где λ — коэффициент теплопроводности грунта;

$24x$ — число часов остывания бетона (x — число суток);

h — глубина слоя оттаившего грунта в м.

С другой стороны, на оттаивание и нагревание до средней температуры $\frac{t'_6}{2}$ слоя грунта толщиной h метров требуется расход тепла:

$$W = h \cdot \gamma \cdot e \left(\frac{t'_6}{2} + t_r \right) + h \cdot \gamma \cdot \mu \cdot 80 = h \gamma \left[e \left(\frac{t'_6}{2} + t_r \right) + \mu \cdot 80 \right],$$

где: γ — объемный вес грунта в кг/м^3 ;

t_r — температура грунта;

e — коэффициент теплоемкости грунта;

μ — относительная влажность грунта;

80 — скрытая теплота плавления льда.

Исключая из двух вышеприведенных уравнений h , получим

$$W = \sqrt{24x\lambda\gamma t'_6 \left[e \left(\frac{t'_6}{2} + t_r \right) + \mu \cdot 80 \right]} \text{ кал (на } 1 \text{ м}^2 \text{ площади)}. \quad (5)$$

Вычисленная по этой формуле потеря тепла добавляется к ранее определенной по формуле (2).

Пример из практики

На Магнитострое бетонировался зимой 1931 г. флютбет плотины толщиной 1,50 м на замерзшем грунте.

Температура бетона при укладке $t_6 = 25^\circ \text{C}$,

Средняя температура наружного воздуха $t_n = -20^\circ \text{C}$,

Температура грунта $t_r = -15^\circ \text{C}$.

Расход цемента — 250 кг/м^3 бетона.

Сверху бетон был укрыт тремя слоями соломы, общей толщиной 18 см.

Ежедневно измерялась температура в середине бетонной плиты на глубине 75 см.

При этом обнаружилось, что температура упала до -1°C только через 25 суток.

Проверим это по формулам (1), (2), (3) и (4):

$$Q = 2400 \cdot 0,25 \cdot 25 + 250 \cdot 30 = 22500 \text{ кал};$$

$$A = 0,05 + \frac{0,18}{0,08} + \frac{0,75}{1,50} = 2,80;$$

$$Q' = \frac{1}{1,5} \cdot \frac{24 \cdot 25 \left(\frac{25+5}{2} + 20 \right)}{2,80} + \frac{1}{1,5} \sqrt{25 \cdot 24 \cdot 1,5 \cdot 2000 \cdot 12,5 \left[0,20 \left(\frac{12,5}{2} + 15 \right) + 0,15 \cdot 80 \right]} = 22000 \text{ кал.}$$

Следовательно имеется почти полное совпадение.

В этом расчете приняты следующие значения:

- 2400 кг/м³ — объемный вес сырого бетона;
- 0,25 — коэффициент его теплоемкости;
- 40 кал — экзотермия цемента;
- 0,08 — коэффициент теплопроводности влажного соломыта;
- 1,50 — » » сырого бетона;
- 25 — число суток остывания;
- 1,50 — коэффициент теплопроводности грунта;
- 2000 кг/м³ — объемный вес грунта;
- 0,20 — теплоемкость грунта;
- 0,15 — относительная влажность грунта.

§ 16. Проектирование составов бетона для зимних работ

Тепловой расчет, изложенный в § 15, дает указания о сроке, в течение которого бетон будет твердеть в теплой среде. За этот срок бетон должен получить определенную прочность, обеспечиваемую надлежащим проектированием состава бетона.

При этом может случиться, что при расчете состава бетона при данных местных материалах обнаружится невозможность получить надлежащую прочность бетона вследствие требующегося слишком жирного состава. В таком случае необходимо применить материалы более высокого качества или улучшить тепловые условия твердения бетона.

В зимних условиях проектирование составов бетона отличается от обычного большим разнообразием заданий и дополнительными причинами, обуславливающими повышение или понижение прочности бетона¹.

В обычных летних условиях заданием является спроектировать наилучший состав бетона из данных материалов, отвечающий только двум условиям: заданной прочности в срок 7 или 28 дней и консистенции. При этом предполагается, что бетон все время твердеет при нормальной температуре (15—20° С) во влажной среде.

В отличие от этого при зимних работах заданием может быть один из следующих ниже случаев.

1. Получение прочности бетона как проектной (например 110 кг/см²), так и некоторой части ее (например 70%), достаточной для снятия подмоостей.

¹ Первые попытки дать приемы проектирования составов бетона для зимних условий были даны инж. Плотниковым в журн. «Строительство Москвы» № 2 за 1931 г. и в его книге «Бетонирование на морозе», 1931.

2. Срок, в который необходимо получение вышеуказанной прочности, может быть весьма разнообразен: 3, 5, 7 и более суток (менее обычных прежде 28 дней), что вызывается необходимостью сократить срок отопления конструкции. Срок менее 3 дней не может приниматься, так как распухла, связанная с достигнутым бетоном высокой прочности в такой короткий срок, потребовала бы весьма большого расхода цемента в бетоне.

3. Температура при твердении бетона может быть выше или ниже нормальной, причем она может поддерживаться или все время на одном примерно уровне (случай тепляка), или постепенно понижаться (случай тепловой одежды) от первоначальной величины (температура бетона во время укладки) до $+0^{\circ}\text{C}$, ниже которой можно практически считать твердение бетона прекращающимся.

Причинами, повышающими прочность бетона, могут быть:

1) твердение в температуре выше нормальной (до $30-40^{\circ}\text{C}$) во влажной среде;

2) применение химических ускорителей твердения (из испытанных средств — хлористый кальций).

Понижение прочности бетона вызывается ранним замораживанием (в возрасте менее 3 суток).

1. Выбор водоцементного фактора (отношения)

Для проектирования составов бетона в зимних условиях практически удобно воспользоваться теми же данными о влиянии водоцементного фактора на прочность бетона, какие были установлены для нормальных летних условий.

При таких условиях на основании опытов лаборатории ЛИИПС и других лабораторий возможно выразить прочность бетона в функции от активности цемента, водоцементного фактора и срока твердения, а именно выразить формулой типа, предложенного проф. Графом:

$$R_n = \frac{R_n}{A \left(\frac{W}{C} \right)^n} \quad (0)$$

Для бетона 28-дневного возраста для наших цементов эта формула по предложению проф. Беляева¹ имеет следующий вид:

$$R_n = \frac{R_n}{3 \left(\frac{W}{C} \right)^{1,5}} \quad (1)$$

Для других сроков твердения возможно получить аналогичные формулы, а именно: для 7 дней

$$R_7 = \frac{R_n}{6 \left(\frac{W}{C} \right)^2} \quad (2)$$

для 5 дней

$$R_5 = \frac{R_n}{8 \left(\frac{W}{C} \right)^{2,1}} \quad (3)$$

¹ Беляев, Метод подбора состава бетона, изд. 4-е, 1932, стр. 87.

для 3 дней

$$\sigma_3 = \frac{R_n}{12 \left(\frac{W}{C}\right)^{2,3}} \quad (4)$$

Однако эти формулы даны для случая твердения бетона в постоянной температуре 15—20° С; при более низкой температуре твердения прочность бетона в те же сроки получается ниже; при повышении температуры прочность увеличивается.

На основании опытов Абрамса и др. можно вывести, что при температуре, отличающейся от +15° С, прочность бетона будет выражаться формулой:

$$\sigma = \frac{R_n}{A \left(\frac{W}{C}\right)^n} \cdot \left(\frac{5 + T + T_1}{35}\right)^{1/2} \quad (5)$$

где коэффициенты A и n сохраняют вышеуказанное значение;

T — температура бетона при укладке,

T_1 — " " в конце расчетного срока твердения.

Формула предполагает изменение температуры бетона одного порядка (т. е. увеличение или уменьшение); в действительности вследствие экзотермии происходит перелом в температуре бетона, что идет в зачет прочности. При массивных конструкциях (когда отношение поверхности к объему меньше 4-х) при коротких расчетных сроках (7 и менее дней) возможно принимать $T_1 = 1/2 T$.

Задаваясь определенным σ_0 , обратно по всем вышеуказанным формулам возможно получить необходимое $\frac{W}{C}$.

Пример 1-й. Пусть требуется получить к 3 дням 70% проектной прочности бетона; последняя принята 110 кг/см². Следовательно

$$\sigma_0 = 0,70 \cdot 110 = 77 \text{ кг/см}^2.$$

По формуле (4) и (5) находим:

$$\sigma_0 = \frac{R_n}{12 \left(\frac{W}{C}\right)^{2,3}} \cdot \left(\frac{5 + T + T_1}{35}\right)^{1/2}$$

Пусть бетон при укладке имеет T равное 20° С, а в конце срока твердения 0° С; активность цемента при испытании (или по паспорту) оказалась равной 200 кг/см².

$$\sigma_0 = \frac{200}{12 \left(\frac{W}{C}\right)^{2,3}} \cdot \left(\frac{20 + 5}{35}\right)^{1/2} = 77,$$

откуда

$$\left(\frac{W}{C}\right)^{2,3} = \frac{200}{12 \cdot 77} \cdot \left(\frac{25}{35}\right)^{1/2} = 0,18; \quad \frac{W}{C} = 0,47.$$

Необходимо заметить, что водоцементные факторы меньше 0,50 являются непригодными для практики, так как для получения властного бетона они потребовали бы применения недопустимо жирных составов бетона.

В данном примере выходом может служить одно или несколько следующих мероприятий:

1) применение цемента более высокой активности, например 350 кг/см^2 , хотя это практически сопряжено с большими трудностями получения нового цемента;

2) удлинение срока подогрева бетона, например до 7 дней;

3) повышение температуры твердения бетона, например доведение ее при укладке до $+25^\circ \text{C}$, а в конце 7 дней до $+5^\circ \text{C}$.

Пусть все эти мероприятия применены в совокупности; в таком случае применяем формулу (2)

$$R_0 = \frac{350}{6 \left(\frac{W}{C} \right)^2} \cdot \left(\frac{5 + 25 + 5}{35} \right)^{1/2} = 77;$$

$$\left(\frac{W}{C} \right)^2 = \frac{350}{6 \cdot 77} \cdot 1 = 0,759; \quad \frac{W}{C} = 0,87.$$

Это $\frac{W}{C}$ является вполне пригодным для практики, давая полную возможность получить пластичный бетон при нежирных составах (не жирнее чем 1:2:4).

Так как влияние температуры на твердение бетона предыдущими формулами уже учтено, то остается ввести в расчет только влияние на прочность химических ускорителей твердения и раннего замораживания.

Применение хлористого кальция дает возможность получить в короткие сроки (3, 5, 7 дней) повышение прочности соответственно в 1,50, 1,30 и 1,20 раза. Это учитывается в расчете тем, что принимается вместо R_0 меньшая величина $\frac{R_0}{1,50} \rightarrow \frac{R_0}{1,30}$ и т. д.

Пример 2-й. Требуется получить 70% проектной прочности бетона, т. е. $R_0 = 0,70 \cdot 110 = 77 \text{ кг/см}^2$, в срок 5 дней, применяя повышенный цемент с активностью $R_n = 275 \text{ кг/см}^2$, подогрев бетона, при укладке до $+30^\circ \text{C}$, применяя хлористый кальций и допуская охлаждение через 5 дней до $+5^\circ \text{C}$.

По формуле (3) и (5) находим:

$$\frac{R_0}{1,30} = \frac{275}{8 \left(\frac{W}{C} \right)^{2,1}} \cdot \left(\frac{530 + 5}{35} \right)^{1/2} = \frac{77}{1,30} = 60;$$

отсюда:

$$\left(\frac{W}{C} \right)^{2,1} = \frac{275}{8 \cdot 60} \left(\frac{40}{35} \right)^{1/2} = 0,61; \quad \frac{W}{C} = 0,79.$$

Раннее замораживание бетона (в возрасте менее 3 суток) связано с оставлением бетона на длительный срок весной для твердения. Поэтому при проектировании составов бетона надлежит пользоваться только формулой 28-дневного твердения бетона, т. е. формулами (1) и (5)

$$R_0 = \frac{R_n}{3 \left(\frac{W}{C} \right)^{1,3}} \cdot \left(\frac{5T + T_1}{35} \right)^{1/2}$$

причем начальная температура твердения может быть принята равной 0 (при оттаивании), а конечная — та температура, которую предполагается иметь через 28 дней.

При расчете необходимо учитывать, что раннее замораживание влечет за собой потерю прочности тем большую, чем в более раннем возрасте бетон замерз, а именно:

при замораживании в возрасте	{	1	сутки бетон теряет	40% прочности
		2	" " "	25% "
		3	" " "	10-15% "

Следовательно необходимо проектировать бетон на прочность, большую заданной в некоторое число раз, которое определяется в каждом случае следующим уравнением:

$$1 \text{ сут.} \dots x - x \cdot 0,40 = 0,60 ; x = \frac{0,60}{0,60} = 1,00 \cdot 0,60 .$$

$$2 \text{ сут.} \dots x - x \cdot 0,25 = 0,6; x = \frac{0,6}{0,75} = 1,33 \cdot 0,6.$$

$$3 \text{ цт.} \dots x - x \cdot 0,15 = 96, x = \frac{96}{0,85} = 1,18 \cdot 96.$$

Пример 3-й. Требуется спроектировать бетон с прочностью 110 кг/см^2 через 28 дней. Активность цемента 275 кг/см^2 . Бетон будет заморожен в возрасте 2 суток, после чего будет оставлен до весны; температура при начале оттаивания 0°C , во время твердения весной постепенно поднимается и в конце срока твердения достигает $+10^\circ \text{C}$.

По формуле (1) и (5) находим:

$$\sigma_6 = \frac{275}{3 \left(\frac{W}{C} \right)^{1.5}} \cdot \left(\frac{50 + 10}{25} \right)^{1/2} = 110 \cdot 1,33;$$

$$\left(\frac{W}{C}\right)^{1.5} = \frac{275}{3 \cdot 110 \cdot 1.33} \cdot \left(\frac{15}{35}\right)^{1.5} = 0.861; \quad \frac{W}{C} = 0.51.$$

2. Формулы для выбора водоцементного фактора при зимних работах

На основании всего сказанного в предыдущих параграфах общей формулой для определения $\frac{W}{r}$ будет служить:

$$\frac{W}{C} = \left[\frac{R_{\text{nk}}}{A \cdot \sigma_0} \cdot \left(\frac{5T + T_1}{35} \right)^{1/2} \right]^{1/n},$$

где

R_n — активность цемента в кг/см² (прочность нормального образца на сжатие через 28 дней);

A — коэффициент, зависящий от срока твердения, а именно:

при 28	двях		$A = 3$,
" 7	"		$A = 6$,
при 5	"		$A = 8$,
" 3	"		$A = 12$.

* — расчетная прочность бетона или ее часть при распалубке, * — поправка меньшая единицы при всех факторах, уменьшающих прочность

Таблица 45

бетона (раннее замораживание, гравий, инертные с плохим зерновым составом или загрязненные), и большая единицы в случаях, когда прочность бетона повышается применением ускорителей, острого или искусственного песка (см. стр. 83 и 135),

T — начальная температура при твердении бетона,
 T_1 — конечная температура при твердении бетона,
 $1/n$ — степень, зависящая от срока твердения бетона, а именно:

при 28 днях — $1/n = 1/1,5 = 0,67$,
 „ 7 „ — $1/n = 1/2 = 0,50$,
 „ 5 „ — $1/n = 1/2,1 = 0,48$,
 „ 8 „ — $1/n = 1/2,3 = 0,43$.

Для облегчения вычисления степеней $1/n$ дается таблица различных чисел N , могущих встретиться при вычислении $\frac{W}{C}$ (табл. 45).

После того как вычислен $\frac{W}{C}$ необходимо остановиться на какой-либо консистенции бетона, соответствующей предполагаемому способу ведения работ. В случае если процесс перемешивания бетона будет организован таким образом, что горячая вода не будет действовать непосредственно на цемент в бетономешалке, консистенция бетона почти не изменяется в

сравнении с бетоном обычной температуры. При действии горячей воды на цемент пластичность бетона падает, почему необходимо подбирать бетон (который подбирается при обычных температурных условиях) с осадкой конуса, большей необходимой на 5 см. В остальных случаях брать осадку больше на 2—3 см.

Сам подбор наимыгоднейшего состава бетона производится так же, как изложено в § 8.

Число N	$N 0,67$	$N 0,50$	$N 0,48$	$N 0,43$
0,10	0,214	0,316	0,331	0,367
0,12	0,241	0,346	0,361	0,397
0,14	0,263	0,374	0,389	0,427
0,16	0,294	0,400	0,415	0,452
0,18	0,317	0,424	0,439	0,476
0,20	0,341	0,447	0,462	0,497
0,22	0,363	0,469	0,484	0,518
0,24	0,385	0,490	0,504	0,538
0,26	0,406	0,510	0,524	0,557
0,28	0,426	0,529	0,543	0,575
0,30	0,447	0,548	0,561	0,598
0,32	0,467	0,566	0,579	0,611
0,34	0,486	0,583	0,596	0,626
0,36	0,505	0,600	0,612	0,641
0,38	0,524	0,616	0,628	0,656
0,40	0,541	0,632	0,644	0,670
0,42	0,560	0,648	0,660	0,684
0,44	0,579	0,663	0,675	0,698
0,46	0,595	0,678	0,689	0,718
0,50	0,629	0,707	0,717	0,740
0,52	0,646	0,721	0,731	0,753
0,54	0,661	0,735	0,744	0,765
0,56	0,678	0,748	0,757	0,777
0,58	0,694	0,761	0,770	0,788
0,60	0,710	0,775	0,783	0,800
0,62	0,727	0,787	0,795	0,812
0,64	0,742	0,800	0,807	0,824
0,66	0,757	0,812	0,819	0,835
0,68	0,770	0,825	0,831	0,846
0,70	0,791	0,837	0,843	0,858
0,72	0,802	0,848	0,854	0,864
0,74	0,817	0,860	0,865	0,875
0,76	0,832	0,872	0,876	0,886
0,78	0,848	0,883	0,887	0,897
0,80	0,861	0,894	0,898	0,908
0,82	0,875	0,905	0,909	0,917
0,84	0,890	0,916	0,920	0,925
0,86	0,904	0,927	0,930	0,933
0,88	0,917	0,938	0,940	0,946
0,90	0,932	0,949	0,951	0,955
0,92	0,947	0,959	0,961	0,963
0,94	0,960	0,969	0,971	0,972
0,96	0,974	0,980	0,981	0,982
0,98	0,986	0,990	0,990	0,992
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

ГЛАВА IV

БЕТОН ТЕПЛЫЙ

§ 17. Общие сведения

Термин «теплый бетон», вошедший в практику СССР, не применяется за границей как не вполне точный. Точнее было бы назвать этот вид бетона «малотеплопроводным бетоном»; теплоизолирующим или легким бетоном, так как с малой теплопроводностью обычно связан малый объемный вес бетона.

К теплому бетону относятся бетоны с объемным весом менее 1600—1800 кг/м³ вместо объемного веса 2200—2400 кг/м³ (при обычном бетоне).

Малый объемный вес теплового бетона достигается двумя способами:

а) применением — вместо тяжелого щебня (гравия) — из твердых каменных пород и обычного песка — легких заполнителей: шлака, пемзы, диатомы, опоки, керамзита и пр. (см. ниже);

б) получением крупнопористого бетона из однородных щебенки, хотя бы и тяжелых, окатанных в цементном тесте и связанных без применения мелкого заполнителя пустот.

Хотя применение теплового бетона в строительстве в виде отдельных камней небольшого размера, изготовленных главным образом из шлака, имело место в небольших размерах еще в дореволюционной России, но история широкого развития теплового бетона началась в СССР только с 1926 г. С этого времени в связи с острым дефицитом в кирпиче для развивавшегося строительства и техническими недостатками кирпича, было применено возведение стен из литого теплового бетона, изготовленного главным образом с применением пемзы, кедрового щебня и шлаков. В силу меньшего объемного веса и меньшей теплопроводности стены из теплового бетона могли возводиться тоньше кирпичных (35—40 см вместо 51—64 см) и значительно дешевле. Строительство такого типа велось вначале смешанным обществом «Русгерстрой», в состав которого входила немецкая фирма «Коссель» в Бремене, имевшая свой патент на теплый литой бетон.

В дальнейшем приемы возведения зданий из теплового бетона и составы бетона подвергались значительным усовершенствованиям (замена пемзы более дешевыми материалами, изыскание новых видов заполнителей, применение теплобетонных камней и крупных блоков). В 1928 г. «Русгерстрой» был ликвидирован; строительство из теплового бетона вели в широком размере специальный трест «Теплобетон» и ряд других строительных организаций.

Основное применение теплового бетона — для стен (несущих), а так же и для заполнений в жилищном и промышленном строительстве; в мень-

шей степени теплый бетон применяется для перегородок и перекрытий.

В применении к наружным стенам теплый бетон имеет несомненные преимущества перед кирпичными стенами в силу меньшей толщины, использования местных материалов и отходов, дешевизны и возможности перехода к индустриальному строительству (уменьшение ручной работы при укладке вследствие большой величины теплобетонных камней в сравнении с кирпичом, применение механизированных станков для выделки крупных камней, сборка домов из крупных блоков при помощи кранов, возведение теплобетонных стен в разборной и подвижной опалубках).

В состав теплового бетона, как и обычного бетона, входят вяжущий материал и один или несколько заполнителей. В отношении вида применяемого вяжущего материала теплый бетон претерпел эволюцию: применявшийся вначале портланд-цемент в силу его дороговизны и дефицитности уступил место сначала смешанному цементно-известковому вяжущему веществу, а затем целому ряду перечисленных ниже новых вяжущих материалов. Применение портланд-цемента для теплового бетона имеет теперь место только в случаях необходимости получить высокую прочность материала например в нижних этажах высоких зданий. Обычно стены имеют малые напряжения сжатия и потому допускают применение новых, указанных ниже вяжущих материалов, дающих относительно невысокую прочность бетонов.

Вяжущие материалы для теплового бетона:

а) глинист-цемент, шлако-портланд-цемент и различные новые шлаковые цементы; {относительно дорогие материалы, применяющиеся при необходимости иметь высокую прочность.

б) известково-цементные смеси;

в) гидравлическая известь и роман-цемент (имеют малое применение в силу небольшого производства этих материалов);

г) известь с гидравлическими добавками (измельченным трепалом, диатомом, трассом, пемзой, туфом, обожженной до невысокой температуры и размолотой глиной, доменным шлаком, золой торфа, бурого угля и горючих сланцев) имеет наибольшее применение в производстве теплового бетона в одном из перечисленных видов применительно к имеющемуся на месте сырью;

д) доменный гранулированный основной шлак, размолотый на бегунах до тонкости помола цемента или несколько более грубо, обладающий самостоятельно свойствами вяжущего материала непререкаемыми условиями являются размол и основность, т. е. химический состав шлака должен удовлетворять условию:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} > 1.$$

Инертные материалы (заполнители) для теплового бетона определяют объемный вес теплового бетона, а как следствие и его основное свойство — теплопроводность. Для достижения меньшей теплопроводности заполнители должны иметь малый объемный вес; однако легкость материала обычно связана с малой прочностью, которая влияет на прочность самого бетона; допустима прочность заполнителя для теплового бетона не ниже 10 кг/см²; наибольшая прочность наиболее тяжелого заполнителя (кирпича) около 100 кг/см². Заполнители должны выбирать из местных материалов, желательно из отходов производств, избегая дальних перевозок, хотя большая потребность в теплом бетоне вынуждала доставлять например пемзу с Кавказа на московские строительства.

Приводимая ниже таблица 46 дает представление о свойствах и разнообразии заполнителей; в силу последнего при различных местных условиях всегда может быть изыскан дешевый заполнитель для теплого бетона; в комбинации с дешевым вяжущим материалом из извести с какой-либо местной добавкой теплый бетон может стать наиболее распространенным материалом для возведения стен зданий.

Таблица 46

Название	Объемный вес в сухом сост. в кусках кг/м ³	Прочность на разрывание кг/см ²	Районы применения
1. Котельный шлак от каменного угля, сжигаемого в паровозных и стационарных котлах.....	650—750	Само-стоят. не определ.	Повсеместно
2. Торфяной шлак...	800—1000	Само-стоят. не определ.	Моск. и Сев. обл.
3. Доменный гранулированный шлак...	600—800	„	Украина, Моск. обл., Урал
4. Кирпичный щебень (бой) простого кирпича.....	800	60—100	Повсеместно
5. То же пористого кирпича.....	650	40—60	„
6. Керамзит искусств.-пористый материал из глины.....	500	15—20	„
7. Пемза.....	500—600	10—30	Закавказье, Сев. Кавказ
8. Туф.....	800—900	20—50	„
9. Ракушечник.....	600	10—20	Сев. Кавказ, Украина
10. Трепел, опока, диатом.....	500—900	10—30	Повсеместно

Для повышения прочности нижних этажей высоких зданий может производиться частичная замена крупного заполнителя твердым щебнем (или гравием), а мелкого — обычным песком, что однако связано с повышением веса и теплопроводности материала.

Требования, предъявляемые к материалам для теплого бетона, сводятся к следующему.

Для вяжущих материалов соответствие стандартам (ОСТ).

Для гидравлических добавок — испытание активности, т. е. способности химически соединяться с известью.

Для заполнителей — определенная крупность, чистота, прочность и легкость.

По крупности заполнители условно делятся на мелкие и крупные; мелким заполнителем считается материал, проходящий через сито с отверстиями в 5 мм; крупным — остающийся на этом же сите.

В составе мелкого заполнителя желательно иметь крупных зерен (более 1,25 мм) от 50 до 70%, остальные зерна — более мелкие; пылевидных частиц (проходящих через сито с отверстиями в 0,15 мм) должно быть: при заполнителе, имеющем в измельченном состоянии свойства гидравлической добавки, до 20%, а при не имеющем таких свойств — до 5% от общего веса материала.

Наибольший размер кусков крупного заполнителя должен быть не более $\frac{1}{4}$ части наименьшего размера бетонируемой конструкции. В составе крупного заполнителя должно быть от 35 до 50% мелких кусков (размером менее половины крупных). Для получения крупнопористого теплого бетона мелкий заполнитель не требуется вовсе, а крупный применяется из однородных по величине зерен.

Ниже излагаются подробно сведения о наиболее употребительных заполнителях для теплого бетона: котельном шлаке, доменном шлаке и керамзите. Для щебня пемзового, диатомового и трепельного даются в приложении стандарты.

§ 18. Заполнители для теплого бетона

1. Шлак котельный

Другое название — шлак топочный. Местные названия: жужлица (Украина), нажига (в применении к шлакам подмосковных углей).

Шлак котельный есть остаток от сжигания в топках котлов стационарных или передвижных установок угля каменного, кокса, антрацита, бурого угля, торфа и мусора. Имеется в виду сжигание топлива в котельных установках при высоких температурах; остаток от сжигания угля и пр. в топках домовых печей не относится к данному материалу и не применяется в строительстве.

Шлак образуется в топке в результате спекания или сплавления минеральных частиц, содержащихся в топливе и в породе, сопровождающей его.

Технические условия на котельный шлак

1. Шлак должен быть чистым, без примеси кирпича, земли, камней, сора и обтирочных комков, каковые должны быть выбраны до употребления шлака в дело.

2. Количество неперегоревших частиц угля не должно быть более 30% от общего веса материала во избежание большой потери прочности шлакобетона при действии огня и вследствие непостоянства объема угля.

Примечание. При 20%-ном содержании угля уже может ставиться вопрос о целесообразности отделения угля для использования как топлива. Отделение возможно производить водой или электромагнитным сепаратором.

3. Количество тяжелых остеклившихся частиц, увеличивающих объемный вес шлака и имеющих плохое сцепление с вяжущими материалами, должно быть не более 10% по весу.

4. Содержание серы не устанавливается в отличие от прежних требований ввиду того, что обычно содержащееся количество серы не влияет на прочность вяжущего материала и условия жизни в зданиях. Все же на случай производства химического анализа, когда реакция на лакмус укажет на кислотный характер материала, устанавливается содержание серы в виде SO_3 не более 3%.

5. Необходимо выдерживание шлака на свалке не менее двух месяцев или обильная поливка шлака перед употреблением в дело для гашения частиц едкой извести.

6. Предельная крупность частиц устанавливается:

для сплошных шлакобетонных камней — 40 мм,

для пустотелых бетонных камней — 20 мм,

для монолитных стен и блоков — 80 мм, но не более $\frac{1}{3}$ части наименьшего размера конструкции.

7. Соотношения зерен разных диаметров при каждой предельной крупности желательны такие, какие приведены здесь на графике (рис. 57).

Заштрихованные области дают пределы наимыгоднейших отношений зерен различных размеров в процентах от общего веса.

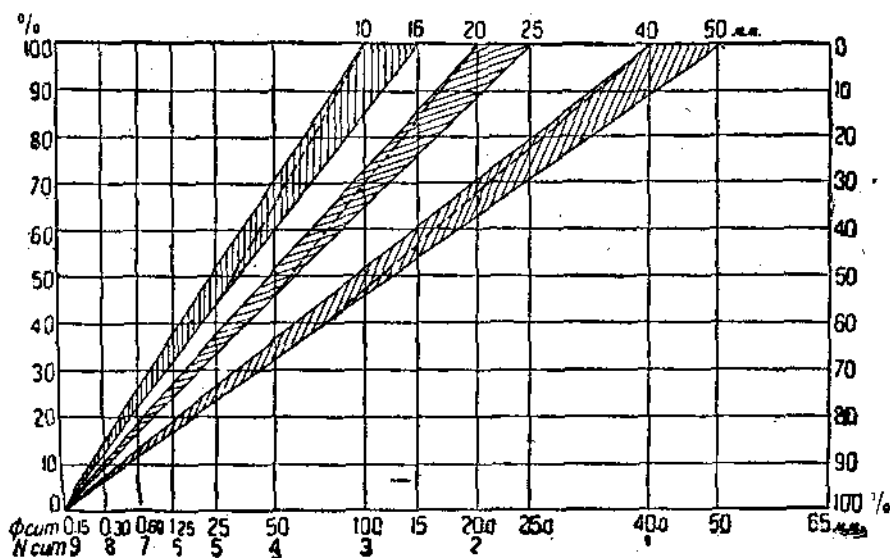


Рис. 57. Состав шлака.

Данные относятся к пластичному бетону. При изготовлении жесткого бетона следует увеличивать содержание средних частиц за счет мелких (показано на графике пунктиром).

8. Объемный вес угольного шлака в сухом рыхлом состоянии должен быть не более 800 кг/м^3 , торфяного шлака — не более 1000 кг/м^3 .

Шлак сосредоточивается в местах потребления топлива (перечисленных видов), а именно в районах с развитой промышленностью (подмосковный район, Ленинград, Харьков, Днепронетровск, Донбасс и др.), а также на узловых ж.-д. станциях в местах очистки топок паровозов.

Шлак делится на разновидности в зависимости от вида сжигаемого топлива:

- а) шлак антрацитовый,
- б) > каменноугольный (курного угля),
- в) > бурого угля,
- г) > торфяной.

По крупности шлак делится на два сорта:

- а) шлаковая щебенка — с крупностью частиц от 5 до 50 мм;

б) шлаковый песок (шлаковая мелочь) — с крупностью частиц от 0,30 до 5 мм.

Частицы мельче 0,30 носят название зола (при сжигании некоторых каменных углей, например подмосковных, на колосниковых решетках зола имеет гидравлические свойства и может применяться как добавка к цементу).

В свою очередь шлаковая щебенка делится на три сорта по крупности в зависимости от вида применения шлака в конструкциях и изделиях, как указано выше.

Цена на шлак (по Москве):

а) при получении его вблизи строительства без перевозки по железной дороге около 7 руб. за 1 т,

б) дробление шлака с просеиванием 6—10 руб. за 1 т,

в) при перевозке по железным дорогам — см. ниже.

Количество получаемого котельного шлака может быть определено, исходя из потребления твердого топлива (за исключением дров), промышленности, транспортом и городскими (коммунальными) установками — водопроводом, канализацией и электростанциями.

Выход шлака составляет от 7 до 12% от веса топлива и может быть принят для расчетов в 10%.

Степень использования шлаков зависит от величины затрат на их сборку, производимую различными организациями, и составляет примерно:

по НКПС	50%
по промышленности	40%
по городским установкам	70%

Количество шлаков, могущее быть использованным для нужд строительства в 1932 г., показано в таблице 47.

Таблица 47

Отрасль народного хозяйства	Количество потребляемого топлива		Выход шлака		Количество шлака, могущее быть использовано в тыс. т
	угля в тыс. т	торфа в тыс. т	уголей в тыс. т	торфов в тыс. т	
Промышленность . . .	20 000	4 500	2 000	450	980
Городские установки .	5 000	3 500	500	350	595
Транспорт	20 000	—	2 000	—	1 000
Итого . . .	—	—	—	—	2 575

Прибавляя сюда шлаки, получаемые промкооперацией и мусоросжигательными станциями (например ленинградская станция дает около 5 тыс. т шлака в год), получим кругло 2,6 млн. т шлака для 1932 г.

Шлак имеет в строительстве следующие применения:

а) в качестве заполнителя для шлакобетона в камнях, блоках и монолитных стенах;

Для дальнейших лет количество шлака исчисляют, исходя из увеличения добычи соответствующих видов топлива и из повышения степени использования шлака, как указано в табл. 48.

б) взамен обычного кварцевого песка в так называемых «теплых растворах» для каменной кладки как легкий заполнитель и отчасти как гидравлическая добавка к вяжущему (например при подмосковных углях);
в) в виде засыпки между какими-либо стенками для утепления конструкции.

Таблица 48

Г о д ы	Увеличение до- бычи топлива в сравнении с 1931 г.	Повышение % исполь- завания (орие- нтировано)	Количество шлака в тыс. т
1933.....	3	1,15	9 000
1935.....	4	1,25	13 000
1937.....	5	1,30	17 000

Примечание. В вышеприведенной таблице потребление угля промышленностью дано без учета расхода его на металлургию как не дающую котельного шлака; потребление топлива для бытовых нужд не учтено, так как оно составляет всего около 7% от промышленного потребления, а сам шлак от комнатных топок не может широко использоваться в строительстве.

По степени эффективности применения шлака перечисленные виды применения располагаются в следующем порядке:

1-е место — использование шлака в шлакобетоне для блоков; применение блоков (имеющих в практике уже вес до 3 т) позволяет перевести строительство стен зданий на сборку кранами взамен кустарной работы по ручной кладке стен из кирпича или мелких камней.

2-е место — применение шлака в шлакобетонных камнях, сплошных и пустотелых, для кладки стен, а также в монолитных шлакобетонных стенах, возводимых с применением разборной или подвижной опалубки.

Как в первом, так и во втором случаях применение шлака в шлакобетоне для стен дает значительные преимущества в сравнении с обычными кирпичными стенами, заключающиеся в следующем:

1. Толщина стен уменьшается в сравнении с кирпичными, как показывают теплотехнический расчет и практика строительства, без ущерба для теплового режима здания в 1,3 раза; как следствие уменьшаются строительная кубатура здания и стоимость стен его в 1,5 раза.

2. Вес стен, а следовательно вес грузов, подлежащих доставке на стройку и подъему на стену, уменьшается в 1,6 раза.

3. Расход рабсилы вследствие больших размеров камней, чем кирпича, уменьшается в 1,25 раза, а при крупноблочном строительстве даже в 2 раза.

4. Расход вяжущих материалов только немногим превышает расход их при кирпичной кладке, так как шлакобетонные камни хотя и требуют расхода вяжущих материалов, но зато уменьшается расход вяжущих материалов на швы; кроме того изготовление шлакобетонных камней может производиться с очень малой затратой или вовсе без затраты дефицитного портланд-цемента, т. е. с применением извести с различными гидравлическими добавками.

5. Общая стоимость шлакобетонного здания уменьшается в сравнении с кирпичными не менее чем на 15%.

3-е место по эффективности занимает применение шлака в «теплом» растворе для кладки стен.

б) от распространения его в определенных районах потребления топлива, преимущественно каменного угля.

Количество шлака, могущее быть полученным для нужд строительства, исчисленное выше для 1932 г. в 2,6 млн. м, достаточно для изготовления обычных двухручных шлакобетонных сплошных камней в количестве $2\,600\,000 \cdot 1000$

$\frac{10}{10} = 260\,000\,000$ шт. (считая 10 кг шлака на камень); однако, учитывая потребность в шлаке для теплых растворов в размере около 20%, получаем возможность изготовления около 200 млн. шт. камней, заменяющих собой $200 \cdot 8 = 1600$ млн. шт. кирпича.

Однако производство такого количества шлакобетонных камней (или блоков) может быть достигнуто только в течение нескольких лет вследствие необходимости создания громадной сети бетонитовых заводов и колоссального расширения производства выжущих материалов.

В действительности на 1932 г. намечено производство по РСФСР камней в количестве 36 млн. шт.

Пример САСШ и Канады показывает, что там изготовление шлакобетонных камней до кризиса достигло широкого развития: выпуск камней в 1928 г. заменял 500 млн. шт. кирпича. Главнейшим материалом для изготовления камней там является котельный шлак.

При подсчете выгоды доставки котельного шлака по железным дорогам в сравнении с другими материалами следует исходить (кроме учета технических свойств материала) из следующей стоимости ж.-д. тарифа на шлак:

при расстоянии	100 км	...	— 36 руб. вагон
>	>	200 >	... — 60 > >
>	>	300 >	... — 84 > >
>	>	600 >	... — 133 > >
>	>	900 >	... — 178 > >
>	>	1200 >	... — 217 > >
>	>	1500 >	... — 265 > >

— Нормальный вагон вмещает шлака 10—12 м в зависимости от объемного веса шлака.

Подготовка шлака для применения в строительстве

Если считать шлак ценным строительным материалом, а не отбросом производств, то можно говорить о сырье для шлака, которым являются некоторые виды топлива, а именно: главным образом антрацит, каменный (курной) уголь и бурый уголь, в меньшей степени торф и в самой малой степени мусор, сжигаемый в городских мусоросжигательных станциях.

Производственные операции по получению и обработке шлака следующие:

- 1) выгребание из топок,
- 2) поливка шлака водой для охлаждения (иногда не производится),
- 3) транспортирование на место хранения (на свалку) для выдерживания шлака некоторое время под действием атмосферных влияний,
- 4) транспортирование на место постройки,
- 5) просивание шлака и промывка,
- 6) дробление.

В целях устранения излишних перевозок более целесообразно организовать просивание материала или даже само изготовление камней на месте получения шлака; в таком случае порядок операций изменяется.

Некоторые из вышеуказанных операций требуют нижеприведенных пояснений.

Поливка горячего шлака водой производится для удобства перевозки и с противопожарными целями; однако быстрое охлаждение горячего шлака может повести к образованию в нем трещин, способствующих дальнейшему разрушению шлака под действием атмосферных влияний; поэтому крайне желательно организовать получение шлака без поливки с медленным охлаждением его на воздухе.

Выдерживание шлака до употребления в дело требуется в продолжение не менее 2 месяцев для гашения имеющейся в шлаке едкой извести, вымывания золы и сернистых соединений под действием дождей.

В Америке на заводах шлакобетонных камней предпочитают устраивать естественную промывку шлака дождями, складывая его на открытых площадках. При этом уменьшение содержания серных соединений и растворимых солей достигается даже значительнее, чем при промывке машинами. Площадка должна быть оборудована дренажем.

Просеивание шлака необходимо для отделения крупных частей золы и для разделения шлака на фракции. Простейшее приспособление для просеивания состоит из двух грохотов, установленных наклонно в деревянной станине. Такие грохота устраиваются при объеме шлака, подлежащего грохочению, до 100 м^3 .

Вполне целесообразно просеивание совместить с промывкой шлака.

Промывка простейшим образом устраивается на бойке; посредством пуска сильной струи воды удаляются частицы золы и так называемый провал (мелкие частицы угля).

При большем объеме работ целесообразно промывку и грохочение вести на специальных машинах.

Обычные цилиндрические грохота с медленным вращением здесь мало применимы, так как влажный шлак с трудом просеивается, облепляя сита. Наиболее удобны быстро согревающиеся сита.

Дробление крупных частей шлака при небольшом объеме работ производится вручную, если шлак предназначен в качестве крупного заполнителя для теплого бетона и количество частей, требующих раздробления, невелико; дробление шлака на мелкие части (мельче 5 мм) для теплых растворов производится обычно на бегунах или фалевках.

Однако производительность такой машины весьма мала; гораздо целесообразнее применять вальцевые и молотковые дробилки.

Нормы расхода рабсилы для обработки шлака:

- 1) грохочение шлака вручную на обычных 2 грохотах — около 2 чел.-час. на 1 м^3 шлака,
- 2) дробление крупных кусков шлака вручную около 6 чел.-час. на 1 м^3 .

Производительность машин для дробления шлака:

- 1) бегуны (фалевка) — $0,75 \text{ м}^3/\text{час}$,
- 2) молотковая дробилка — от 2 до $10 \text{ м}^3/\text{час}$ (в зависимости от типа машины).

При применении шлака в теплом бетоне необходимо иметь шлак во влажном состоянии с той целью, чтобы вода, закрывая поры, не давала возможности проникнуть в них раствору; проникновение раствора нежелательно, так как увеличивается расход вяжущего материала и объемный вес теплого бетона.

Химический состав и физическая структура шлака

Химический состав котельных шлаков зависит от рода сжигаемого топлива и потому сильно колеблется. Ниже приводятся составы трех шлаков — остатков от сжигания донецкого каменного угля, подмосковного угля и торфа (табл. 49).

Таблица 49

Химические соединения	Донецкий каменный уголь (при пересчете на вычитом угольных част.)	Зола подмосковных углей (Воробьевского района)	Торфяные шлаки (Шатурской станции)
SiO_2	51,2	43,5	46,0
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	44,1	45,0	25,1
CaO	0,4	5,0	20,1
MgO	следы	1,0	2,4
SO_2	0,3	1,5	0,4
потери п. п.	3,4	4,2	4,7

Таким образом содержание SiO_2 колеблется в небольших пределах, на оборот, содержание полуторных окислов и CaO различается весьма сильно. В торфяном шлаке наличие всех трех веществ, входящих в систему $\text{CaO} - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$ в значительных количествах, объясняет его гидравлические свойства.

Возможно предполагать наличие в некоторых видах котельного шлака активной кремнекислоты, служащей гидравлической добавкой к извести, так как опыты показывают твердение известково-шлаковых растворов в воде.

В состав шлака входят:

- 1) клинкер — частицы, полностью или частично расплавившиеся во время сжигания топлива; могут быть плотными при медленном охлаждении шлака и более пористыми при быстром охлаждении шлака водой;
- 2) негоревший уголь;
- 3) кокс, образовавшийся в процессе перегонки угля;
- 4) зола (частицы мельче 0,30 мм независимо от их химического состава);
- 5) различные мусор, камни, кирпич, обтирочные концы и пр.

Содержание перечисленных составляющих весьма различно и зависит от рода топлива и способа сжигания, именно, содержание доходит:

клинкера	до 60 %
угля и кокса	до 40 %
зола	до 25 %

Шлаки каменного (курного) угля имеют преимущество перед антрацитовыми шлаками по своему составу, так как содержат больше клинкера, частицы клинкера более прочные, негоревшее топливо содержится главным образом в виде кокса, т. е. наиболее легких частиц.

Наиболее желательной составной частью шлака является легкий пористый клинкер благодаря своей прочности и устойчивости; из негоревшего топлива кокс предпочтительнее перед углем в силу меньшего объемного веса.

Испытание прочности шлакобетона показывает, что легче всего раздавливаются частицы кокса, являющиеся таким образом наиболее слабым составе шлака; частицы антрацита и плотные остеклившиеся частицы имеют плохое сцепление с цементным раствором.

Основные свойства материала

1. Удельный вес около 2,5.
2. Объемный вес: в воздушно-сухом рыхлом состоянии 600—750 кг/м³; состоянии естественной влажности 650—800 кг/м³.
3. Временное сопротивление сжатию определяется только в образцах в раствора или теплого бетона.

Средние данные о прочности контрольных образцов шлакобетона с острожек приведены в табл. 50. (Изготовление без пропарки).

Таблица 50

4. Коэффициент теплопроводности шлаковой засыпки при объемном весе 700 кг/м³ составляет:

$$\lambda = 0,16 \frac{\text{кал}}{\text{м. град. час.}}$$

Коэффициент теплопроводности шлакобетона при объемном весе 1400 кг/м³ составляет 0,45—0,50.

5. Влагоемкость до 40% от веса.

Рыхлый влажный шлак занимает больший объем, чем сухой; при влажности в 10% объем увеличивается в 1,20 раза; при влажности в 30% — в 1,30 раза; при погружении в воду шлак занимает приблизительно свой первоначальный объем.

Шлаки отличаются быстрым водопоглощением и медленной влагоотдачей (насыщенный водой шлак высыхает при комнатной температуре и нормальной влажности в течение более 15 суток).

6. Морозоупорность материала испытывалась в шлакобетонных камнях, причем при применении цементного и известково-цементного растворов получены удовлетворительные результаты. При открытом хранении шлака некоторые крупные куски распадаются, возможно — это куски, получившие трещины при охлаждении горячего шлака водой.

7. Огнестойкость шлака в естественном состоянии не обеспечена, поскольку в нем содержится до 40% негорючего угля и кокса. Однако в шлакобетоне, изготовленном достаточно плотно, свободного горения угля быть не может; возможна только перегонка угля с выделением дыма; при сильно пористых шлакобетонах огнестойкость не обеспечена, так как имеется доступ воздуха к частицам угля.

По американским опытам плотный шлакобетон, в котором шлак содержал 45% угля, после длительного действия огня все же дал удовлетворительную прочность. Даже при изготовлении бетона с одним углем после действия огня прочность понизилась только на 55%.

8. Гидравличность установлена вполне определенно для шлаков подмосковных углей, причем свойство гидравличности проявляется в более

Состав	Временное сопротивление сжатию в срок (в кг/см ²)	
	1 мес.	4 мес.
Цемент, шлак 1:7 ..	25	40
» 1:9 ..	22	30
Известь, цемент, шлак 1:1:12	22	30
То же 1:1:15	18	25
Известь, трепел, шлак 1:1 1/2:6	10	20

последние сроки (14 и более дней), чем при других добавках (цемя, трепал).

Методы испытания и приемки

а) Построечные методы. 1. Собрать сведения: имеется ли возможность длительного получения с одной свалки или одного завода шлака постоянного качества; какой род топлива сжигается; обеспечена ли толпа искусственной тягой для полного сгорания топлива.

2. Осмотреть кучи шлака и выявить наличие мусора.

3. Приготовить среднюю пробу, взяв шлак из разных мест кучи, перемешать тщательно и отобрать 20 кг шлака.

4. Всыпать шлак в ведро с водой, причем зола и кокс всплывут на поверхность; собрать всплывшие части, слить воду и определять отбором на-глаз процент клинкера, угля, кокса и золы.

5. Определить объемный вес шлака в сухом рыхлом состоянии.

б) Лабораторные методы. 1. Произвести анализ шлака по крупности, произведя просеивание на стандартных ситах во всем согласно указаниям стран. 212, и построить график просеивания.

2. Пропитать 5 кг шлака в дистиллированной воде и испробовать водную вытяжку лакмусовой бумагой двух цветов; при этом цвет как красной, так и синей бумаги не должен измениться.

Сильное изменение цвета (в особенности окрашивание синей бумаги в красный цвет) влечет за собой необходимость производства химического анализа шлака.

3. Для определения постоянства объема шлака производится следующее испытание, предложенное в Англии: изготавливается лепешка диаметром 7 см и толщиной в середине около 1,5 см из 1 части вяжущего материала (1/4 части цемента и 1/4 части гипса) и 3 частей мелко размоленного шлака с добавлением воды в количестве, необходимом для получения пластичного теста.

Образец выдерживается 3—4 часа на воздухе, затем погружается в воду на 3 суток, после чего вынимается и исследуется. Появление на образце трещин, идущих от краев к середине, вспучивание краев или общая рыхлость образца служат признаком недоброкачества шлака.

Главной причиной недоброкачества являются разбухание угля и гашение одной извести, могущей быть в шлаке.

2. Шлаки металлургические

Шлаки металлургические используются как сырье для производства вяжущих материалов и как добавки для бетона в течение большого периода: в САСШ около 50 лет, в СССР — 30—40 лет.

Однако использование шлаков в СССР далеко не достаточно, достигая не более 50%, от общего выпуска шлака.

Само количество шлаков, могущих быть использованными в строительстве в различных видах, составляет до 50—60%, от веса выплавляемого чугуна, т. е. к концу первой пятилетки около 6 млн. т шлака в год.

В качестве добавки к бетону у нас в начале первой пятилетки для бетона было применено 64%, от общего количества использованного шлака, в конце пятилетки предполагалось уменьшать до 26%, увеличив за этот счет расход шлака для производства более эффективных материалов (различных шлаковых цементов).

Несмотря на относительно малые количества металлургических шлаков в сравнении с залеганиями твердых каменных пород, пригодных для щебня и гравия, эти шлаки представляют большой интерес, так как они сосредоточены в металлургических районах, где также развито строительство.

Металлургические шлаки имеют несколько разновидностей в зависимости от характера процессов переработки железной руды в чугуны или стали, от примененных при восстановительном процессе добавок (флюсов) и от способа охлаждения горячего шлака.

В зависимости от характера процесса получения металлов имеются следующие виды шлаков:

- 1) доменные шлаки, получаемые при выплавке чугуна из железной руды в доменных печах; встречаются в наибольших количествах;
- 2) бессемеровские шлаки, получаемые при выплавке стали из фосфористых чугунов в конвертерах;
- 3) томасовские шлаки, получаемые при выплавке стали из фосфористых чугунов в конвертерах с основной футеровкой;
- 4) мартеновские шлаки, получаемые при выплавке стали из различных чугунов и металлургических отходов в печах Мартена;
- 5) шлаки из нагревательных, калильных и сварочных печей; получают в весьма малых количествах, поэтому не имеют применения в строительстве и в дальнейшем не рассматриваются.

Все металлургические способы получения чугуна и стали сводятся к восстановлению металла и освобождению его от минеральных веществ, содержащихся в руде, в добавляемых в печь флюсах (плавнях), в топливе и в футеровке печи.

Особо вредными примесями для металлов являются сера и фосфор, содержащиеся в руде (0,1—0,5%) и в топливе (в коксе до 2,5%). Для облегчения расплавления минеральных примесей в руде и с целью отделения их от металла (что происходит в силу их меньшего удельного веса) в печи добавляются так называемые флюсы (при кислых рудах — основные флюсы, при основных рудах — кислые добавки), чаще всего известняк, так как руда обычно содержит большое количество кремнезема.

Доменный шлак можно определить как побочный продукт, получающийся в расплавленном состоянии при изготовлении чугуна из руды и содержащий все те минеральные примеси из руды, флюсов и топлива, которые не вошли в чугун (за исключением малого количества) и в кокшиновые газы.

По своему химическому составу металлургические шлаки представляют собой смесь силикатов различных оснований (CaO , MgO , MnO) с обязательным содержанием глинозема Al_2O_3 . Последний при избытке оснований может рассматриваться как кислотный окисел, а при недостатке оснований как основной. Такие соединения, как CaO , MgO , Al_2O_3 , целиком попадают в шлак; MnO большей частью остается в шлаке, частично восстанавливается и попадает в металл; сера частично переходит в CaS или MnS , частью попадает в металл. При действии на шлаки влаги сернистый кальций частично переходит в сероводород и улетучивается, частично обращается в серножелезные соли. Вылеживание шлаков при действии дождей или поливки в течение нескольких недель является целесообразным (для удаления сероводорода), однако часть сернистых соединений (CaSO_4 и MnS) остается в шлаке, составляя от 1,5 до 3,5% от веса шлака.

В зависимости от химического состава шлакам присвоено название основных и кислых.

Основными шлаками считаются те, химический состав которых удовлетворяет условию

$$M_r = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} \geq 1;$$

у кислых $M_r < 1$.

Безусловно основные шлаки содержат $\text{CaO} > 48\%$, кислые $\text{CaO} < 45\%$.

При выплавке литейных чугунов на коксе шлаки получаются сильно основными (содержание CaO 48—50%), при передельных чугунах (идущих на передел стали) основность уменьшается, но все же шлаки остаются основными (CaO 46—48%). Наконец при плавке чугунов на древесном угле шлаки получаются весьма кислыми.

По способу обработки после выхода из печи шлаки делятся на гранулированные и негранулированные. В зависимости от этого шлаки получаются или плотными и тяжелыми или пористыми и легкими, в зернах или кусках разной величины.

Процесс грануляции состоит в быстром охлаждении расплавленного шлака, вследствие чего шлак раздробляется и застывает в виде зерен. Грануляция производится или выпуском шлака в бассейн с водой с последующим выбором шлака грейфером или охлаждением шлака струей воды, пара или воздуха.

Негранулированные шлаки получаются при выливании расплавленного шлака в формы, каналы или на свалку. В зависимости от интенсивности грануляции шлак может быть получен в зернах различной крупности. При недостаточном количестве воды (например при выливании шлака на сырой песок или землю) шлак может застыть в виде целых кусков или пласта, но имеющих пористую структуру.

Гранулированные шлаки образуют стекловидные аморфные осколки, негранулированные имеют кристаллическую массу, что легко может быть отмечено поляризационным микроскопом (темное поле при аморфном строении и светящееся при кристаллическом).

Быстро охлажденный основной стекловидный шлак обладает в размолотом состоянии гидравлическими свойствами, давая вяжущий материал как самостоятельно, так и в особенности при действии возбудителей (главным образом извести и веществ, ее содержащих, в частности портланд-цемента). Эти свойства являются особенно ценными при производстве различных шлаковых цементов и при добавках к бетону.

Поведение доменных шлаков после выпуска из печи и их использование будут весьма различны в зависимости от химического состава и способа обработки.

Шлаки кислые, вылитые в формы или каналы, медленно остывающие, образуют плотную и прочную массу, обладающую постоянством объема и могущую быть использованной в качестве прочной добавки для обычного бетона (взамен щебня или гравия) и для мощения дорог.

Шлаки кислые, подвергнутые грануляции при избытке воды, расплаждаются в зерна и дают мелкий инертный легкий заполнитель для теплых растворов и бетонов. Размолотые могут служить гидравлической добавкой к извести, но при большей дозировке извести, чем с основными шлаками.

При уменьшении количества воды при грануляции можно добиться получения из кислого шлака пористых кусков различных размеров (см.

ниже термозит) для применения в качестве крупного заполнителя в теплых бетонах.

Шлаки основные при грануляции с избытком воды дают зернистый материал, обладающий тем большими гидравлическими свойствами, чем мельче он размоют. Такой шлак имеет применение для производства шлаковых цементов, шлакового кирпича, растворов и бетонов.

При недостаточном количестве воды для грануляции основной шлак, так же как и кислый, дает куски пористого материала, однако легко распадающиеся со временем.

При медленном охлаждении сильно основного шлака он быстро (в течение нескольких часов) распадается в белый порошок, обладающий весьма слабыми гидравлическими свойствами и идущий как добавка при производстве шлакового кирпича и «возбужденного» бетона (см. гл. V).

Для применения в цементе и бетоне наибольшую ценность представляют гранулированные шлаки, в особенности основные как дающие одновременно легкий и гидравлический материал.

Необходимо отметить, что обязательным требованием к этим шлакам является их устойчивость со временем. Опыты Гутмана показали, что важнейшая составная часть основных шлаков — двухкальциевый силикат $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ — может встречаться в трех модификациях, названных альфа, бета и гамма, α и β сходны и имеют гидравлические свойства; γ — имеет меньший удельный вес, чем α и β , и при переходе в эту форму из предыдущих шлаков должен увеличиться в объеме и расссыпаться. Указанные модификации образуются при быстром охлаждении шлака при следующих температурах:

$$\begin{aligned}\alpha &> 1600^\circ \text{C}, \\ \beta &= 1410 - 675^\circ \text{C}, \\ \gamma &< 675^\circ \text{C}.\end{aligned}$$

При выпуске шлака из печи обычно имеется температура ниже 1400°C , почему возможно образование только β и γ форм. Распад шлака, как показали опыты Гутмана, происходит при определенном сочетании содержания CaO и температуры грануляции. Гутману удалось найти признак для определения распавшихся шлаков — свечение под действием ультрафиолетовых лучей кварцевой лампы, а именно: распавшиеся шлаки светятся желтым цветом, не распавшиеся — фиолетовым. Распавшиеся шлаки не имеют гидравлических свойств, стойкие шлаки этими свойствами обладают. Кроме этого образуются еще стеллянные шлаки, также не обладающие гидравлическими свойствами. Все данные о влиянии содержания CaO и температуры грануляции на свойства шлака представлены на приводимой здесь диаграмме Гутмана (рис. 58).

Помимо изложенного «известкового» распада имеет место также «железный» распад шлаков, содержащих большое количество закиси железа (более 10%); эти шлаки образуются при неправильном ходе доменной печи, имеют отличительным признаком темный (даже черный) цвет и не должны применяться для цемента и бетона; распад их вызван переходом закиси железа в окись и связанным с этим увеличением объема.

Повышенное содержание глинозема и магнезии увеличивает стойкость шлака, марганец наоборот — уменьшает.