АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ СССР

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
НИИЖБ

УКАЗАНИЯ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ (ТЯЖЕЛЫХ И ГИДРАТНЫХ) БЕТОНОВ

МОСКВА — 1959

gost.e-ecolog.ru

АКАДЕМИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ СССР

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
БЕТОНА И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
НИИЖБ

УКАЗАНИЯ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ (ТЯЖЕЛЫХ И ГИДРАТНЫХ) БЕТОНОВ

Одобрены
Академией строительства и архитектуры СССР
30 апреля 1958 г.

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ, АРХИТЕКТУРЕ
И СТРОИТЕЛЬНЫМ МАТЕРИАЛАМ
Москва—1959

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Указания по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из специальных (тяжелых и гидратных) бетонов, предназначенных для защиты от радиоактивных воздействий . . 4

Инструкция по проектированию составов специальных (тяжелых и гидратных) бетонов на заданный объемный вес, прочность и подвижность 19

Приложения:

1. Пример расчета состава тяжелого бетона 27
2. Расчет количества связанной воды в гидратном бетоне . . 29

Инструкция по приготовлению и укладке специальных (тяжелых и гидратных) бетонов в защитные ограждения 30

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящий сборник включены следующие документы, разработанные лабораторией тяжелых бетонов Научно-исследовательского института бетона и железобетона:

1) «Указания по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из специальных (тяжелых и гидратных) бетонов, предназначенных для защиты от радиоактивных воздействий»;

2) «Инструкция по проектированию составов специальных (тяжелых и гидратных) бетонов»;

3) «Инструкция по приготовлению и укладке специальных (тяжелых и гидратных) бетонов в защитные ограждения».

Указания содержат основные положения строительного проектирования защитных ограждений от радиоактивных воздействий, а инструкции — рекомендации по методике проектирования и приготовления тяжелых и гидратных бетонов для защиты от радиоактивных излучений.

Указания и инструкции составлены на основании результатов теоретических и экспериментальных исследований НИИЖБа д-ром техн. наук проф. А. Е. Десовым. В экспериментальных работах принял участие мл. научн. сотр. В. И. Надольский. Защитные свойства бетонов от гамма-излучения исследованы совместно с Институтом гигиены и профзаболеваний АМН СССР (инж.-физик Н. В. Вершинин с участием инж. Г. Л. Гранберга).

Указания и инструкции одобрены Академией строительства и архитектуры СССР 30 апреля 1958 г.

Материалы предназначены в качестве руководства для проектировщиков и инженеров-строителей, занятых проектированием и строительством защитных ограждений от действия радиоактивных (гамма- и нейтронного) излучений.

Все замечания по материалам сборника просим направлять по адресу: г. Перово, 3, Московской области, НИИбетона и железобетона.

Директор НИИбетона и железобетона
К. Н. КАРТАШОВ

УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ (ТЯЖЕЛЫХ И ГИДРАТНЫХ) БЕТОНОВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ РАДИОАКТИВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

I. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

1. Настоящие «Указания» являются дополнением к «Нормам и техническим условиям проектирования бетонных и железобетонных конструкций» (НиТУ 123-55) и распространяются на проектирование бетонных и железобетонных конструкций промышленных и гражданских зданий и специальных сооружений из специальных (тяжелых и гидратных) бетонов.

2. Специальными тяжелыми бетонами называются бетоны с объемным весом более 2,5 *т/м*^{3}, приготовленные на тяжелых заполнителях естественного или искусственного происхождения (магнетит, лимонит, гематит, чугунный скрап, барит, дробь, обрезки стали).

Гидратными бетонами называются бетоны, в состав которых входит большое количество химически связанной или полусвязанной воды. Носителями связанной воды в гидратных бетонах являются вяжущие (портланд-цемент, гипсоглиноземистый цемент, глиноземистый цемент, магнезиальный цемент), заполнители (лимонит, гематит, серпентинит) или специальные добавки, содержащие легкие элементы: (водород, литий, гелий, кадмий).

3. Для бетонных и железобетонных защитных конструкций применяются бетоны на цементах, удовлетворяющих требованиям ГОСТ 970-41 (портланд-цемент, пуццолановый портланд-цемент, шлакопортланд-цемент, пластифицированный портланд-цемент), ГОСТ 969-41 (глиноземистый

цемент) и ВТУ МПСМ 1951 (гипсо-глиноземистый расширяющийся цемент).

4. Пуццолановый портланд-цемент применяется исключительно для подземных сооружений и конструкций, находящихся в условиях повышенной и постоянной влажности при отсутствии высоких температур, а также для мелких блоков и изделий, изготовляемых на заводах с применением автоклавной обработки или пропаривания, также работающих в среде с повышенной влажностью при нормальных температурах.

Шлакопортланд-цемент применяется во всех случаях наравне с портланд-цементом за исключением случаев, когда требуется быстрый рост прочности при естественном твердении бетона.

Глиноземистый, гипсо-глиноземистый и магнезиальный цементы применяются в гидратных бетонах для увеличения содержания в бетоне защитного ограждения связанной воды (табл. 1).

Таблица 1

Наименование цементов	Количество связанной воды в % от веса цемента в возрасте	
	1 месяц	12 месяцев
Портланд-цементы	15	20
Гипсо-глиноземистый	28	32
Глиноземистый	25	30
Магнезиальный (окись магния+хлористый магний) . . . . . :	35	40

Примечание. При наличии агрессивной среды выбор вяжущих производится в соответствии с НиТУ 3-49 (пп. 4 и 5) и специальными инструкциями.

5. Специальные тяжелые бетоны, подвергающиеся воздействию высоких температур до 250°, должны быть плотными — с показателем плотности не менее 0,9.

Примечание. Показателем плотности бетона называется отношение суммы абсолютных объемов входящих в бетон цемента, крупного и мелкого заполнителей, а также связанной воды к объему единицы бетона. Количество связанной воды принимается по табл. 1.

6. Гидратные бетоны, подвергающиеся воздействию высоких температур — от 50 до 250°, должно предохранять от испарения воды специальными покрытиями.

Покрытия из этилсиликонатов или метилсиликонатов натрия и препарата ГКЖ не предохраняют от испарения влаги из бетона, а потому не рекомендуются.

Ограждения, работающие при температурах до 60°, рекомендуется покрывать перхлорвиниловыми смолами; в случаях эксплуатации защитных ограждений при более высоких температурах рекомендуется применять металлическую опалубку, оставляемую на все время эксплуатации.

Примечание. В случае применения для защитных ограждений, работающих при повышенных температурах, обычных тяжелых бетонов на них распространяются НиТУ 123-55.

7. При проектировании защитных ограждений, работающих при повышенных температурах, следует учитывать ослабление прочности бетона в соответствии с данными табл. 2.

Таблица 2

Наименование бетона	Потеря прочности в % при температурах			
	150°	200°	150°	200°
	кубиковая прочность		призменная прочность	
Обычный бетон	15	25	25	40
Лимонитовый бетон . . .	10	15	25	40
Бетон на лимонитовом песке и чугунном скрапе	20	35	50	85
Бетон на чугунном скрапе и обычном песке	20	30	30	50

8. Заполнители минеральные (гравий, щебень), применяемые в комбинированных бетонах, включающих тяжелые и обычные заполнители и предназначенных для защитных ограждений, должны удовлетворять ГОСТ 8269-56 «Щебень из естественного камня и гравий для строительных работ. Методы испытаний»; ГОСТ 2779-50 «Гравий для обычного бетона. Технические условия»; ГОСТ 2780-50 «Щебень из естественного камня для обычного бетона. Технические условия»; ГОСТ 2781-50 «Песок для обычного бетона. Технические условия».

Кроме указанных в упомянутых ГОСТах показателей, производятся определения полного химического состава и объемного и кажущегося удельных весов заполнителей в соответствии с ГОСТ 6427-52 «Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения объемных и удельных весов».

9. В качестве заполнителей для специальных тяжелых бетонов применяются: магнетит, лимонит, гематит, барит, серпентинит, металлический скрап, чугунная и металлическая дробь, обрезки полосовой и листовой стали, чугунная стружка, обрезки арматуры (для бетона) и чугунные чушки.

В качестве мелких и крупных заполнителей для гидратных бетонов рекомендуется применять лимонит или серпентинит.

Примечание. Запрещается применение чугунного скрапа или других заполнителей из отходов металла, покрытых жиром или маслами.

10. Заполнители для тяжелого бетона разделяются по крупности зерен на мелкий заполнитель — с зернами от 0,15 до 5 *мм* включительно и крупный заполнитель — с кусками крупностью от 5 до 80 *мм*.

11. По гранулометрическому составу мелкий и крупный заполнители должны находиться в пределах кривых просеивания для наиболее употребительных заполнителей — наибольшей крупности 40 *мм* (рис. 1 и 2).

Примечание. Для чугунного скрапа и обрезков стали допускается отклонение от заштрихованной области с преобладанием зерен большой крупности.

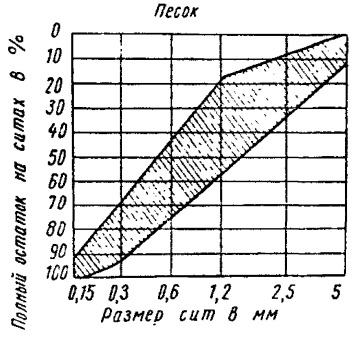

Рис. 1. Гранулометрический состав мелкого заполнителя

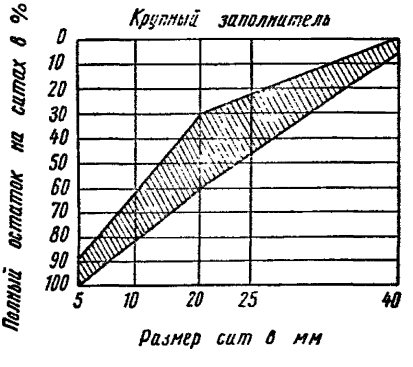

Рис. 2. Гранулометрический состав крупного заполнителя

12. Наибольшая крупность кусков заполнителей для специальных (тяжелых и гидратных) бетонов должна отвечать требованиям, предъявляемым ГОСТ 8269-56 на заполнитель для обычного бетона.

13. Объемный вес крупного и мелкого заполнителей (кроме металлического скрапа) устанавливается в сухом

состоянии после 30 сек. вибрирования на лабораторной виброплощадке с амплитудой колебаний 0,35 *мм* и частотой (номинальной) 3 000 кол/мин. Объемный вес заполнителей может находиться в пределах, указанных в табл. 3.

Таблица 3

Наименование заполнителей	Объемный вес в $т/м^3$		Удельный вес в $т/м^3$	Пустотность в %
	мелкий — менее 5 *мм*	крупный — 5—80 *мм*		
Лимонит или гематит	1,6—1,7	1,4—1,5	3,2—4	—
Магнетит	2,3—2,4	2,6—2,7	4,3—5,1	—
Барит	3—3,1	2,6—2,7	4,3—4,7	—
Чугунный и металлический скрап:				
а) дробь	4,5—8,8	—	7,1	38
б) обрезки круглой стали диаметром d=16—25 *мм*, длиной 2 d	—	4,3	7,8	46
в) обрезки полосовой и листовой стали толщиной 4—20 *мм*, длиной 50—60 *мм*	—	3,4	7,8	57
г) обрезки угловой стали до 120×120 *мм*, длиной 50—80 *мм*	—	2,4	7,8	68
д) чугунная стружка . . .	—	2,3	7,8	54

14. Прочность кусков заполнителя по испытанию их в цилиндрических образцах диаметром 50 *мм* и высотой 50 *мм* или в кубиках 50×50×50 *мм* должна быть не ниже величин, указанных в табл. 5.

15. Водопоглощение заполнителей для специальных (тяжелого и гидратного) бетонов должно быть в пределах значений, указанных в табл. 6.

16. Содержание сернокислого бария в барите не ограничивается, но для обеспечения указанных в табл. 3 объемных весов оно должно быть в пересчете на сухое вещество не менее 80%. Содержание полуторных окислов (Fe_2O_3 и Al_2O_3), а также кремнезема не нормируется. Вредными примесями в барите считаются сернистые и сернокислые соединения, включающие гипс или пирит, если содержание последних превышает 1% от веса заполнителя.

17. Содержание окиси железа в лимоните и магнетите не ограничивается, но для обеспечения указанных в табл. 3 объемных весов оно должно быть не менее указанного в табл. 4.

Таблица 4

Наименование заполнителя	Содержание окиси железа в %	
	в мелком заполнителе	в крупном заполнителе
Лимонит	70	80
Магнетит	60	75

Примечание. При получении мелкого заполнителя путем отсева выветрившейся части крупного заполнителя следует учитывать повышенную водопотребность этого мелкого заполнителя и пониженное содержание окиси железа вследствие засорения породы посторонними примесями.

Таблица 5

Наименование заполнителя	Предел прочности при сжатии в *кг/см²*
Чугунный скрап	2 000
Магнетит . . .	2 000
Лимонит или гематит	350
Барит	400

Таблица 6

Наименование заполнителя	Водопоглощение в % по весу
Магнетит . . .	1—2
Лимонит или гематит	9—10
Барит	1—2

18. Заполнители для гидратных бетонов характеризуются количеством связанной и полусвязанной воды, которое устанавливается опытным путем.

II. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

19. Марка тяжелых и гидратных бетонов, их маркировка и методы испытаний принимаются в соответствии с «Нормами и техническими условиями проектирования бетонных и железобетонных конструкций» (НиТУ 123-55) и ГОСТ 6901-54 «Методы определения удобоукладываемости бетонной смеси и прочности бетона».

20. Нормативные сопротивления (пределы прочности) наиболее употребительных марок специальных (тяжелых и гидратных) бетонов и нормативные модули упругости при сжатии принимаются согласно табл. 7 и 8.

Таблица 7

Показатели	Условное обозначение	Марка бетона		
		100	150	200
Сжатие осевое (призменная прочность)	$R^{н}_{пр}$	80	120	145
Сжатие при изгибе	$R^{н}_{и}$	100	140	180
Растяжение осевое	$R^{н}_{р}$	10	15	20
Растяжение при изгибе .	$R^{н}_{р.и}$	16	21	26
Сцепление с арматурой . .	—	11	18	22
Модуль упругости	$E^{н}_{б}$	140 000	175 000	215 000

Примечание. Модули упругости определены при нагрузке, равной половине от разрушающей.

Таблица 8

Показатели	Условное обозначение	Марка бетона		
		100	150	200
Сжатие осевое (призменная прочность)	$R^{н}_{пр}$	50	75	100
Сжатие при изгибе . . .	$R^{н}_{и}$	60	95	125
Растяжение осевое	$R^{н}_{р}$	9	12	16
Растяжение при изгибе .	$R^{н}_{р.и}$	9	12	16
Сцепление с арматурой .	—	10	16	21
Модуль упругости	$E^{н}_{б}$	100 000	170 000	230 000

Примечание. Данные табл. 7 относятся к магнетитовым, лимонитовым и баритовым бетонам, а табл. 8 — к бетонам на заполнителе из чугунного скрапа.

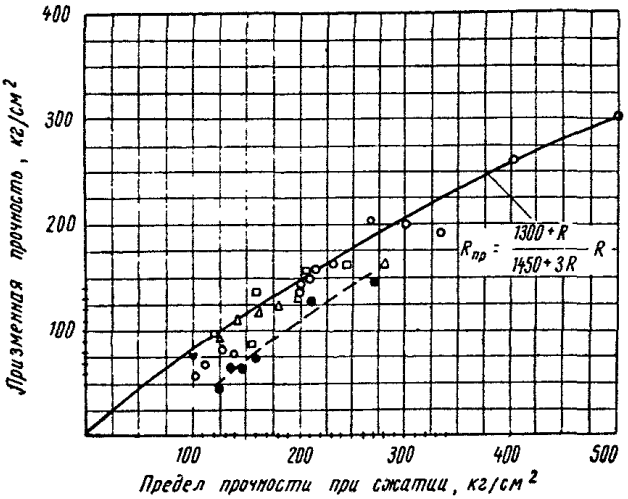

Рис. 3. Призменная прочность комбинированных составов с лимонитом

△ —лимонит+щебень; □ —лимонит+барит; ○ —лимонит+магнетит; ● —лимонит+чугун

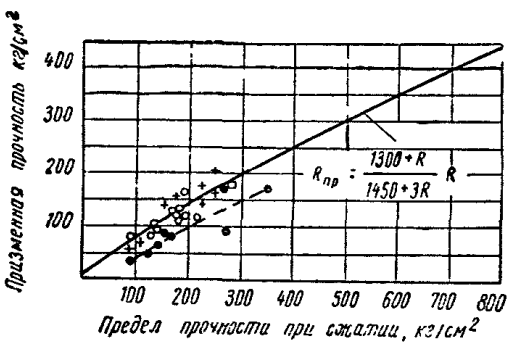

Рис. 4. Призменная прочность в функции кубиковой прочности

○ —магнетитовый бетон; +—лимонитовый бетон; □—баритовый бетон; ●—чугунный скрап

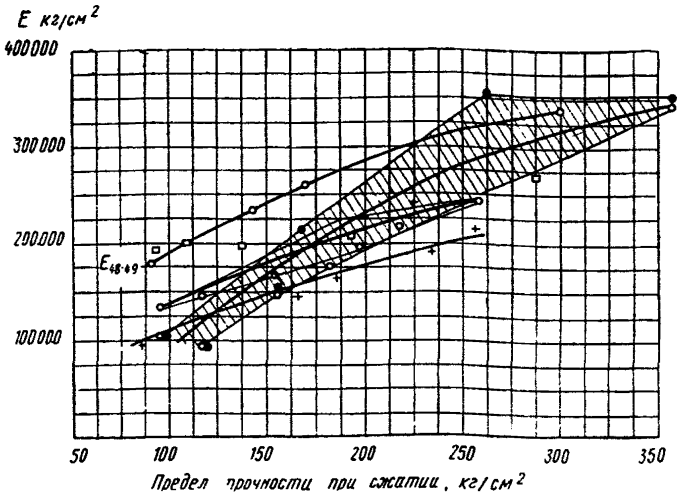

Рис. 5. Модули упругости для различных составов
○—обычный бетон; +—лимонитовый бетон;
□— баритовый бетон; ●—чугунный скрап

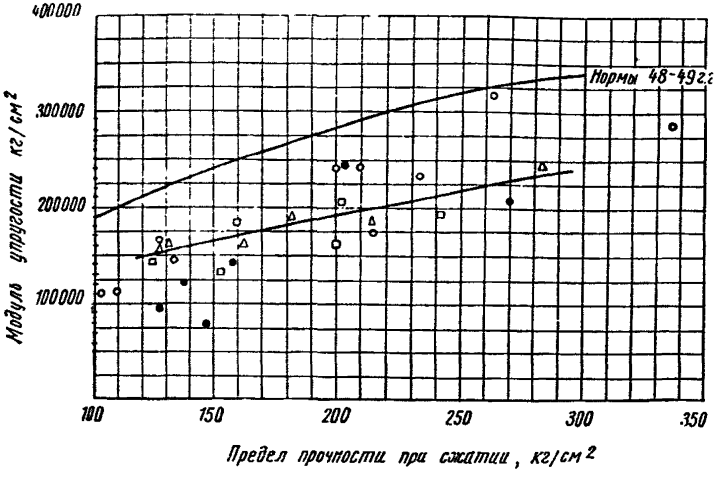

Рис. 6. Модули упругости для комбинированных составов
△ —лимонит+щебень; ○—лимонит+магнетит;
□—лимонит+барит; ●—лимонит+чугун;

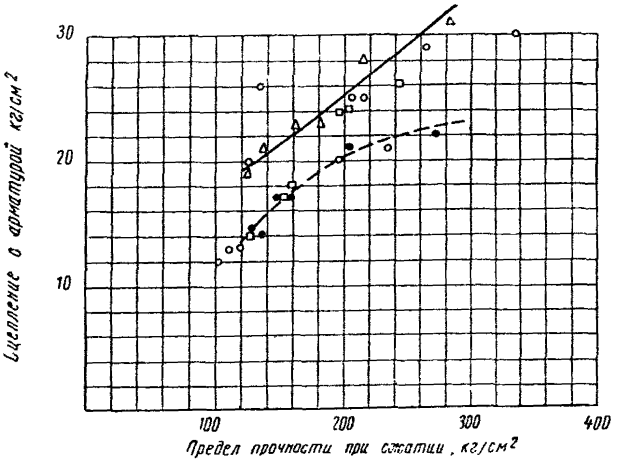

Рис. 7. Сцепление с арматурой для комбинированных составов

△ —лимонит+щебень; ○—лимонит+магнетит; □—лимонит+барит; ●—лимонит+чугун

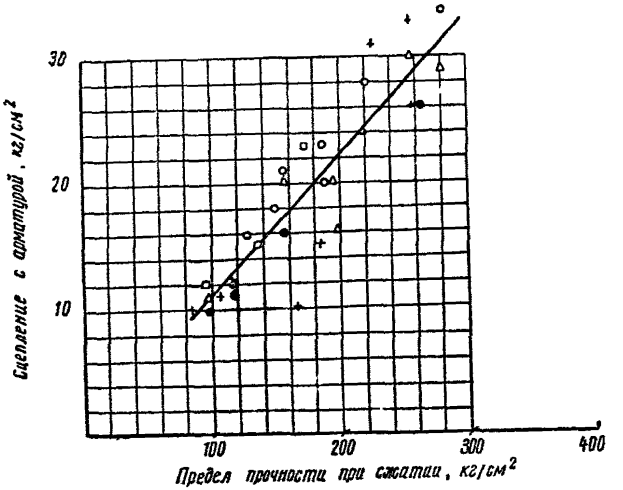

Рис. 8. Сцепление с арматурой

△ —обычный бетон; ○ —магнетитовый бетон; + —лимонитовый бетон; □—баритовый бетон; ● —чугунный скрап

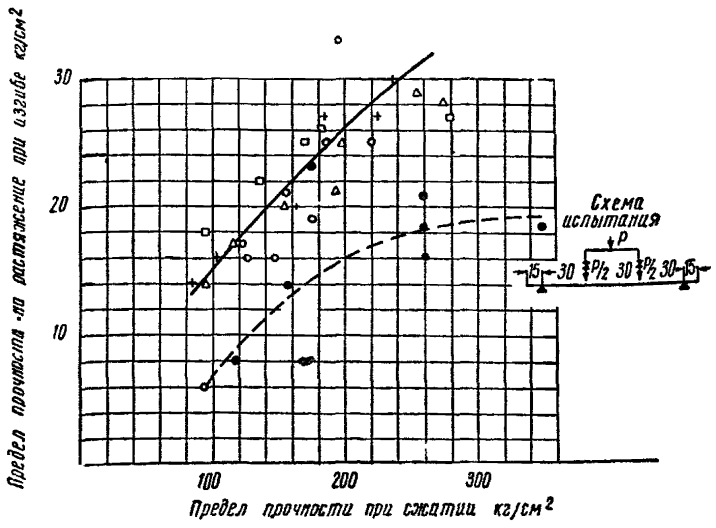

Рис. 9. Предел прочности на растяжение при изгибе

△ —обычный бетон; ○ —магнетитовый бетон; + —лимонитовый бетон; □—баритовый бетон; ● —чугунный скрап

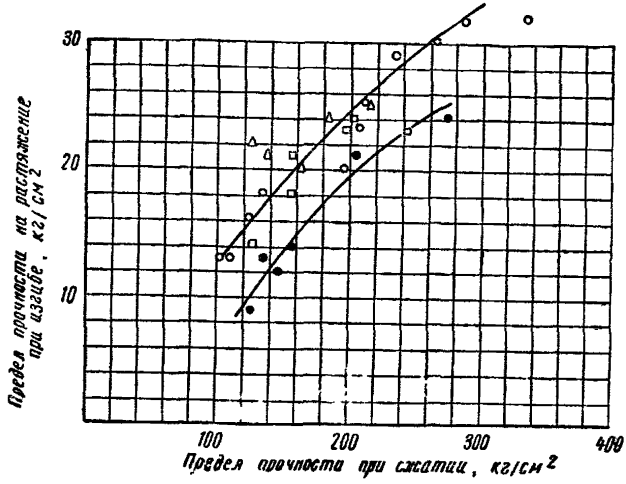

Рис. 10. Предел прочности на растяжение при изгибе для комбинированных составов

△ —лимонит+щебень; ○—лимонит+магнетит; □ —лимонит+барит; ● —лимонит+чугун

Примечания. 1. Выбор нормативного сопротивления, сцепления или модуля упругости для промежуточных значений марок бетона может производиться по графикам рис. 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и 10.

2. Предел прочности на сжатие при изгибе принимается равным 1,25 $R_{пр}$.

3. Модуль упругости при изгибе принимается 0,75 от значений, приведенных в таблицах.

4. Нормативное сопротивление растяжению бетонов на глиноземистом цементе принимается 0,7 от табличных значений.

21. Коэффициенты однородности специальных (тяжелых и гидратных) бетонов принимаются такими же, как и для обычных тяжелых бетонов, в соответствии с НиТУ 123-55.

22. Коэффициенты линейного расширения специальных (тяжелых и гидратных) бетонов при охлаждении и при нагревании в пределах от 0 до 200° принимаются по табл. 9.

Таблица 9

Наименование бетона	Коэффициент линейного расширения
Обычный бетон	$1 \cdot 10^{-5}$
Лимонитовый »	$0{,}76 \cdot 10^{-5}$
Комбинированные бетоны с лимонитовыми или гематитовыми заполнителями	$0{,}63 \cdot 10^{-5}$

23. Усадка специальных (тяжелых и гидратных) бетонов в микронах на 1 *м* принимается по данным табл. 10.

Таблица 10

Наименование бетона	Усадка в μ/*м*		
	за первые сутки	за 6 месяцев	полная
Лимонитовый бетон	100—200	550	700
Бетон на чугунном скрапе	150—450	450	750
Комбинированные бетоны с лимонитовым песком	200—500	500	850
Бетон обычный	400—550	450	950
Магнетитовый бетон	500—600	500	1 000
Баритовый »	500—1 100	650	1 450

24. Объемные веса специальных (тяжелых и гидратных) бетонов принимаются по данным табл. 11.

Таблица 11

Наименование бетона	Объемный вес бетона в $т/м^3$	
	минимальный	максимальный
Обычный бетон	2,3	2,4
Баритовый »	3,3	3,6
Магнетитовый »	2,8	4
Лимонитовый »	2,3	3
Бетон раздельной укладки из чугунных чушек	5	6
Бетон с чугунным скрапом	3,7	5
Бетон на чугунной дроби диаметром 0,8—2 *мм*	3,5	3,9
Комбинированные бетоны с лимонитовым песком и с крупными заполнителями:		
с обычным щебнем	2,4	2,6
» баритовым »	3	3,2
» магнетитовым »	2,9	3,8
» чугунным скрапом	3,6	5

25. Применение баритовых и лимонитовых бетонов при температурах выше 50° без принятия специальных мер тепловой защиты запрещается. Также запрещается применять баритовые бетоны в сооружениях, находящихся в проточной воде.

26. Коэффициенты поглощения гамма-лучей кобальта-60 в широких и узких лучах специальными (тяжелыми и гидратными) бетонами приведены в табл. 12.

Таблица 12

Наименование поглотителя	Коэффициент поглощения в $см^{-1}$		Объемный вес в $т/м^3$
	в узком пучке	в широком пучке	
Чугун	0,420	0,289	7
Бетон на лимонитовом песке и чугунном скрапе	0,249	0,205	4,2
Бетон на обычном песке и чугунном скрапе	0,222	0,186	4,1
Бетон на лимонитовых заполнителях	0,152	0,136	2,7
Бетон обычный	0,134	0,123	2,4
» » с добавкой буры	0,135	0,122	2,4

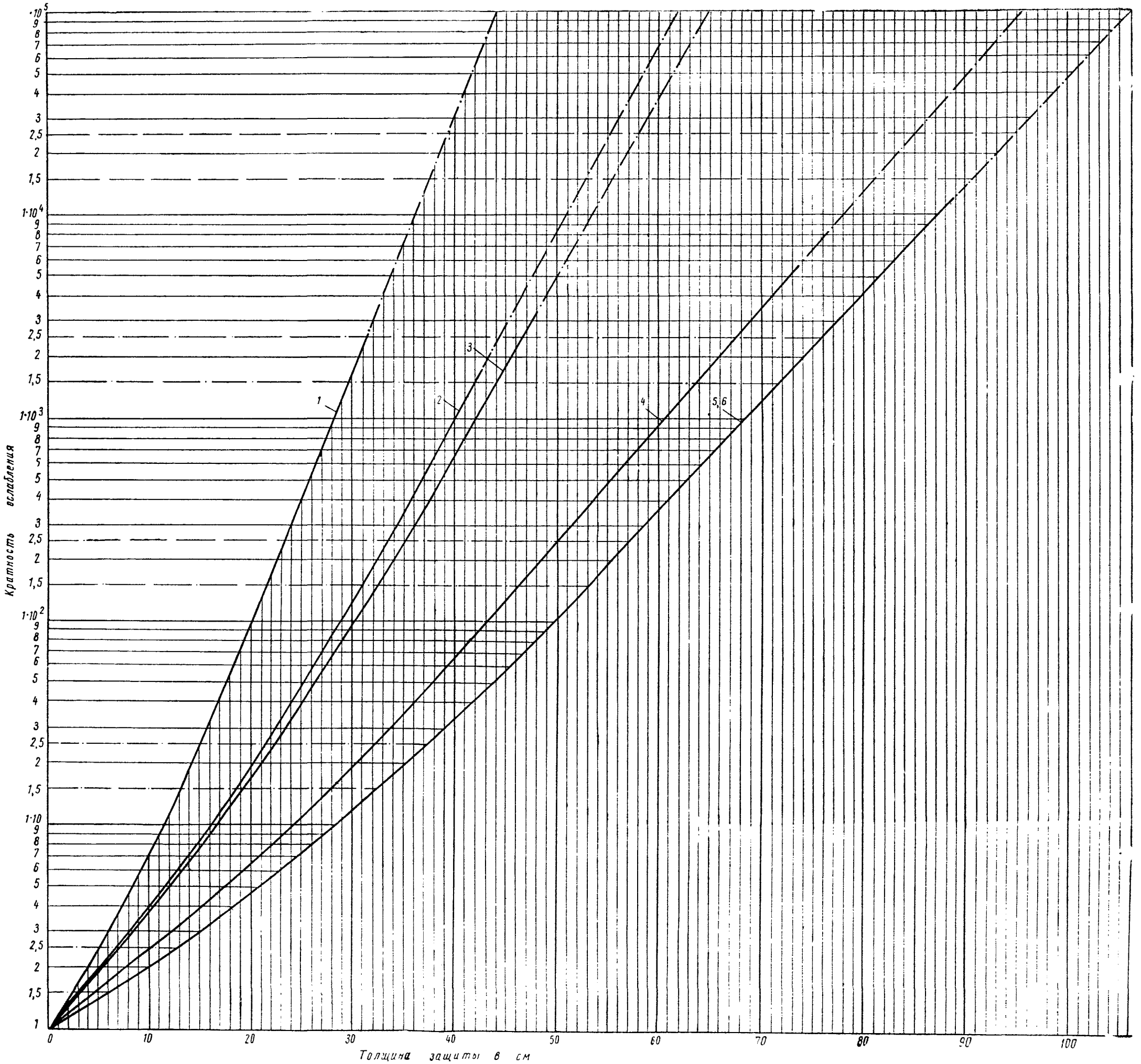

Рис. 11. Номограмма для расчета толщины защитного ограждения для данной кратности ослабления

1 — чугун, $\gamma = 6{,}8$; *2* — бетон (лимонит + чугун) $\gamma = 4{,}2$; *3* — песок (песок + чугун) $\gamma = 4{,}1$; *4* — бетон (лимонит + лимонит) $\gamma = 2{,}7$; *5* — бетон (песок + щебень) $\gamma = 2{,}4$; *6* — бетон (песок + щебень + бура) $\gamma = 24$

Для облегчения расчетов толщин ограждений приводится график ослабления интенсивности излучения защитными ограждениями из перечисленных в табл. 12 материалов (рис. 11).

Для ориентировочных расчетов защитных свойств ограждения из бетонов с другими объемными весами можно считать, что защитные свойства материалов пропорциональны их объемному весу.

27. При проектировании бетонов на специальных заполнителях следует учитывать их пониженную морозостойкость. Наименее морозостойки бетоны на чугунном скрапе и лимонитовом песке. Потеря прочности у этих бетонов после 25 циклов замораживания и оттаивания составляет 60—70%. Также неморозостойки баритовые бетоны, потеря прочности которых после 25 циклов составляет 45—60%. Остальные специальные бетоны по морозостойкости хуже обычного бетона и лучше бетона на чугунном скрапе и лимонитовом песке.

28. Сопротивление истиранию у лимонитовых бетонов, кроме бетона, крупным заполнителем которого служит чугунный скрап, хуже, чем у обычного бетона.

29. При проектировании сооружений из бетонов на тяжелых заполнителях следует учитывать их способность терять при подсушивании гигроскопическую влагу. Средняя потеря влаги при высушивании до постоянного веса при 100° в процентах от веса бетона указана в табл. 13.

Таблица 13

Наименование бетона	Потери влаги в % от веса бетона
Баритовый бетон	4
Обычный »	5
Бетон на чугунном скрапе	3
Магнетитовый бетон	6
Лимонитовый »	12
Комбинированные бетоны с лимонитовым песком:	
с обычным щебнем	7
» магнетитовым »	7
» баритовым »	5
» чугунным скрапом	2

Защитные свойства бетона с оставшимся содержанием влаги менее 5% от веса считаются неудовлетворительными.

30. В защитном ограждении должно быть предусмотрено охлаждение внутренней поверхности стены до уровня, принятого расчетом на прочность, с учетом ослабления прочности бетона при повышенных температурах.

31. Необходимое ослабление интенсивности излучения защитными ограждениями вычисляется по отношению интенсивности излучения источника радиации к допустимой дозе облучения.

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ СОСТАВОВ СПЕЦИАЛЬНЫХ (ТЯЖЕЛЫХ И ГИДРАТНЫХ) БЕТОНОВ НА ЗАДАННЫЙ ОБЪЕМНЫЙ ВЕС, ПРОЧНОСТЬ И ПОДВИЖНОСТЬ

1. При проектировании составов специальных тяжелых и гидратных бетонов, предназначенных для защиты от радиоактивных воздействий, необходимо удовлетворить следующим требованиям:

а) объемного веса, обеспечивающего заданные защитные свойства от гамма-излучения;

б) заданного количества химически связанной воды, обеспечивающего защиту от нейтронного излучения;

в) прочности бетона;

г) подвижности бетонной смеси, обеспечивающей хорошую укладку, отсутствие расслаивания и однородность защитного ограждения;

д) экономичности.

2. Требования к материалам для специальных (тяжелых и гидратных) бетонов изложены в Указаниях по проектированию. Выбор необходимых материалов для обеспечения перечисленных выше требований производится путем сравнительных подсчетов экономичности бетонов, получаемых из доступных местных материалов.

3. Прочность специального (тяжелого или гидратного) бетона зависит от активности цемента, цементно-водного отношения, жирности бетона, степени водопоглощаемости заполнителя и степени уплотнения бетона. Для ориентировочного определения цементно-водного отношения, обеспечивающего заданную прочность хорошо уплотненного вибрированного бетона на обычном плотном щебне, на баритовых заполнителях в тощих составах (по весу) не менее 1 : 12, на

магнетитовых заполнителях в тощих составах 1 : 8, а также на лимонитовом песке с крупным заполнителем в виде чугунного скрапа или щебня твердой породы, можно пользоваться формулой

$$R_б = 0{,}55R_ц \left(\frac{Ц}{В} - 0{,}5\right). \qquad (1)$$

Для более жирных составов бетона на магнетитовых заполнителях (состава жирнее, чем 1 : 8), а также для бетонов на лимонитовых заполнителях, на лимонитовом песке и крупном заполнителе в виде магнетитового щебня или баритового щебня и для бетонов на обычном песке и чугунном скрапе ориентировочную прочность бетона рекомендуется вычислять по формуле

$$R_б = 0{,}45R_ц \left(\frac{Ц}{В} - 0{,}6\right). \qquad (2)$$

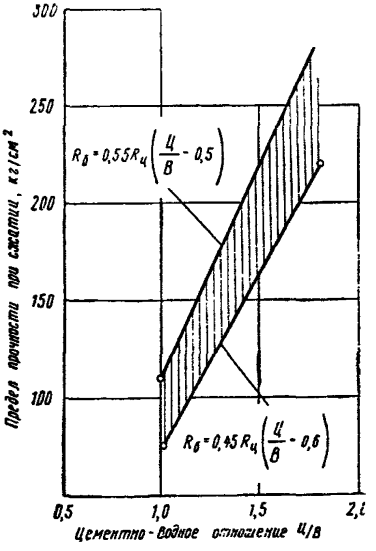

Рис. 1. Зависимость предела прочности при сжатии от $Ц/В$ для средней активности цемента 400

Для облегчения расчетов при выборе необходимого $Ц/В$ приводится график зависимости $R_б$ от $Ц/В$ для средней активности цемента $R_ц = 400$ *кг/см*^{2}; верхняя прямая относится к формуле (1), а нижняя прямая — к формуле (2) (рис. 1).

Примечание. Для очень жирных составов бетона и бетонов на слабых крупных заполнителях с избытком мелочи прочность бетона может оказаться ниже, чем подсчитанная по формуле (2).

4. Ориентировочный расход воды на 1 *м*^{3}, удовлетворяющий условию получения заданной подвижности бетонной смеси, измеренной осадкой нормального конуса, на портланд-цементе марки 400 выбирается по графику на рис. 2. Для обычного щебня, баритового щебня и чугунного скрапа значения расходов воды берутся по нижней кривой. Для всех комбинированных составов, мелким заполни-

телем которых служит лимонит или другой аналогичный материал, поглощающий большое количество воды, расход ее назначается по средней кривой. Для бетонов на лимонитовых песке и щебне расход воды назначается по верхней кривой.

5. Ориентировочный расход воды на 1 $м^3$ бетона, удовлетворяющий условию получения бетонной смеси с заданным показателем жесткости, определенным техническом вискозиметре по ГОСТ 6901-54, выбирается для портланд-цементов марки 400 по графику рис. 3. Данные графика относятся к бетонам со средним расходом цемента 350 $кг/м^3$ на заполнителе крупностью 40 *мм*. При повышении расхода цемента расход воды для получения заданного показателя жесткости увеличивается. На показатель жесткости влияет также содержание песка в смеси заполнителей и особенно водопоглощаемость заполнителя.

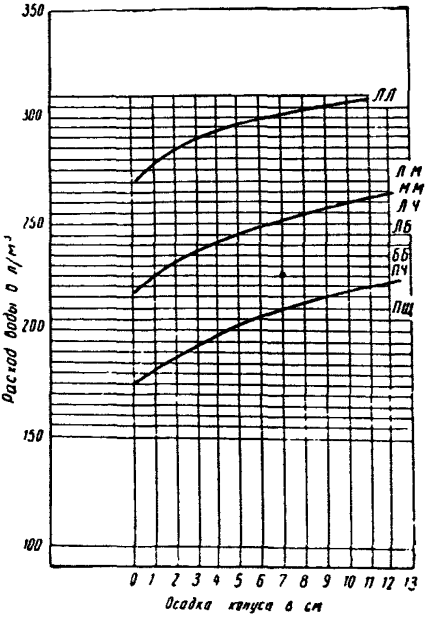

Рис. 2. Кривые расходов воды для получения бетонной смеси заданной подвижности для различных материалов

ЛЛ—лимонит+лимонит; *ЛМ*—лимонит+магнетит; *ММ* — магнетит + магнетит; *ЛЧ* — лимонит + чугун; *ЛБ* — лимонит + барит; *ББ* — барит + барит; *ПЧ* — песок + чугун; *ПЩ* — песок + щебень

Примечание. Рекомендуется проверять зависимости, показанные на рис. 2 и 3, на местных материалах.

6. Во всех случаях применения специальных (тяжелых и гидратных) бетонов рекомендуется, в целях уменьшения расслаивания бетонной смеси и обеспечения однородности бетона защитного ограждения, применять либо малоподвижные бетонные смеси с осадкой нормального конуса 2—3 *см* с показателем жесткости в пределах 20—25 сек., либо умеренно жесткие бетонные смеси с нулевой осадкой конуса и показателем жесткости в пределах 30—60 сек., если наличные механизмы для уплотнения позволяют применить умеренно жесткие смеси.

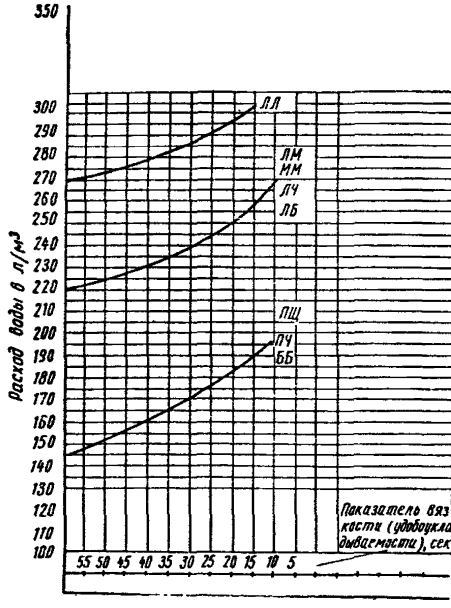

Рис. 3. Кривые расходов воды для получения заданного показателя жесткости (удобоукладываемости) для различных материалов
ЛЛ —лимонит+лимонит; *ЛМ* — лимонит+магнетит; *ММ* — магнетит + магнетит; *ЛЧ*—лимонит + чугун; *ЛБ* — лимонит + барит; *ББ*—барит+барит; *ПЧ*—песок+чугун; *ПЩ* — песок + щебень

В целях получения плотного бетона с наибольшим объемным весом рекомендуется применять по возможности наибольший расход крупного заполнителя на единицу объема бетона; при этом наибольшая крупность заполнителя должна быть также по возможности большой, обусловленной сечением элемента, расположением и количеством арматуры и закладных деталей и условиями приготовления бетонной смеси, а гранулометрический состав заполнителей должен отвечать требованиям кривых просеивания в соответствии с «Указаниями по проектированию конструкций из специальных бетонов».

8. Объемные веса уплотненных вибраторами специальных (тяжелых и гидратных) бетонов, определенные сразу после изготовления, принимаются по данным табл. 1.

Таблица 1

Наименование бетона	Объемный вес в *т/м³*	
	минимальный	максимальный
Обычный бетон	2,3	2,4
Лимонитовый »	2,3	3
Магнетитовый »	2,8	4
Баритовый »	3,3	3,6
Бетон с чугунным скрапом	3,7	5
Комбинированные бетоны с лимонитовым песком и обычным щебнем	2,4	2,6
с баритовым щебнем	3	3,2
» магнетитовым »	2,9	3,8
» металлическим скрапом	3,6	5

9. Расчет состава специального тяжелого бетона по заданному объемному весу производится следующим образом.

По выбранному значению $Ц/В$ и расходу воды $В$ на 1 $м^3$ бетона вычисляется расход цемента на 1 $м^3$ бетона:

$$Ц = \frac{Ц}{В} \cdot В. \qquad (3)$$

По известным значениям расхода воды и цемента на 1 $м^3$ бетона и заданному объемному весу бетона вычисляется необходимый расход заполнителей на 1 $м^3$ бетона, обеспечивающий заданный объемный вес бетона, уплотненного вибрированием, а именно:

$$З = П + Щ = V_б - (Ц + В). \qquad (4)$$

Вычисленный суммарный вес заполнителей в 1 $м^3$ разбиваем на вес мелкого и крупного заполнителей, пользуясь следующим правилом. Содержание мелкого заполнителя в предположении, что зерна мелкого заполнителя не раздвигают зерен крупного заполнителя, вычисляется по формуле

$$q' = \frac{(1-b)\gamma_м}{\gamma_к + (1-b)\gamma_м}. \qquad (5)$$

Здесь:

$b = \frac{\gamma_к}{\gamma'_к}$ — абсолютный объем крупного заполнителя;

$\gamma'_к$ — удельный вес крупного заполнителя;

$\gamma_м$ — объемный вес мелкого заполнителя;

$\gamma_к$ — объемный вес крупного заполнителя.

Объемный вес крупного заполнителя определяется в уплотненном вибрированием состоянии.

Вычисленное по формуле (5) значение q' увеличивают на 0,08—0,1 и затем производят расчет объемного веса бетона по полученному q и ранее установленным значениям $З$, $Ц$ и $В$. Для облегчения расчетов содержания мелкого заполнителя приводится табл. 2 значений q с учетом добавления 0,1.

10. Если запроектированный объемный вес бетона не превышает заданный более чем на 10%, то принимают этот состав и производят пробный замес. Если же объемный вес превышает заданный более чем на 10%, то производят необходимую корректировку путем изменения содержания крупного заполнителя и затем вторично делают пробный замес.

Уменьшение объемного веса специальных тяжелых бетонов ниже заданного не допускается.

Таблица 2

Значения содержания (по весу) мелких заполнителей q в смеси заполнителей

	Объемный вес крупного и мелкого заполнителей в уплотненном вибрированием состоянии														
	крупный заполнитель $\gamma_к = 1{,}5$					крупный заполнитель $\gamma_к = 2{,}6$					крупный заполнитель $\gamma_к = 3{,}7$				
	мелкий заполнитель					мелкий заполнитель					мелкий заполнитель				
	$\gamma_м = 1{,}5$	1,7	2	2,4	3	$\gamma_м = 1{,}5$	1,7	2	2,4	3	$\gamma_м = 1{,}5$	1,7	2	2,4	3
Удельный вес заполнителей:															
$\gamma'_к = 6{,}6$	—	—	—	—	—	0,36	0,38	0,42	0,44	0,51	0,25	0,27	0,29	0,32	0,36
$\gamma'_к = 4{,}2$	0,49	0,52	0,56	0,61	0,66	0,28	0,3	0,33	0,36	0,4	—	—	—	—	—
$\gamma'_к = 3{,}2$	0,45	0,47	0,51	0,56	0,61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$\gamma'_к = 2{,}4$	0,37	0,4	0,44	0,47	0,53	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Прочность бетона рекомендуется проверять на местных материалах опытным путем с построением зависимости предела прочности при сжатии от цементно-водного отношения.

11. При затворении пробного замеса определяют показатель жесткости в техническом вискозиметре, подвижность (осадку конуса) в соответствии с ГОСТ 6901-54 и объемный вес. По объемному весу корректируют расход материалов на 1 $м^3$ бетона. При определении показателя жесткости устанавливают внешним осмотром наличие избытка песка или его недостаток в смеси и исправляют состав, уменьшая до возможного минимума содержание песка, не

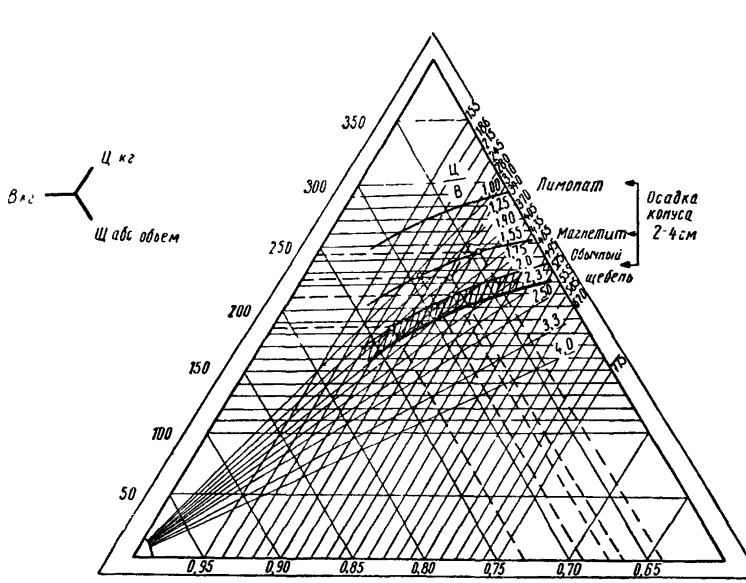

Рис. 4. Номограмма для расчета состава бетона

допуская расслоения бетонной смеси и ухудшения условий ее обработки в опалубке. После корректировки состав выдают на производство.

Ориентировочный расчет состава тяжелого бетона на заданные объемный вес, прочность и подвижность может быть произведен графически (рис. 4).

Следует выбрать, как прежде, значение $Ц/В$, обеспечивающее заданную марку. На пересечении прямой $Ц/В$ с кривой подвижности для данных заполнителей находят точку, которая дает расход цемента и воды в килограммах и абсолютный объем заполнителей с поправкой на плотность бетона. Если при определении по $Ц/В$ расхода основных материалов вводят поправку на водопоглощение заполнителей, то во всех случаях пользуются одной нижней кривой подвижности, относящейся к заполнителям с малым водопоглощением (до 1%) и обеспечивающей осадку конуса 2—4 *см*.

Расход цемента и воды (за вычетом поглощенной заполнителями) при данном $Ц/В$ и данном абсолютном объеме заполнителей не изменяется.

Полученное из графика значение абсолютного объема заполнителей должно быть разделено на мелкий и крупный заполнители таким образом, чтобы, во-первых, обеспечить заданный объемный вес и, во-вторых, чтобы содержание мелкого заполнителя было бы наименьшим возможным для данных крупных заполнителей. Эту задачу можно решить только способом попыток, причем заданный объемный вес бетона должен соответствовать имеющимся заполнителям (табл. 1).

Последовательность решения задачи методом попыток следующая. Из табл. 2 по известным значениям объемных весов мелкого $\gamma_м$ и крупного $\gamma_к$ заполнителей и удельному весу крупного заполнителя $\gamma_к'$ выбирают оптимальное содержание мелкого заполнителя в смеси заполнителей q. Далее вычисляют условный средний удельный вес заполнителей в предположении, что

$$\gamma_{ср}' = \gamma_к' (1 - q) + \gamma_м' (q). \qquad (6)$$

Затем находят вес заполнителей, умножая абсолютный объем $S_{абс}$ на средний удельный вес заполнителей $\gamma'_{ср}$, т. е.

$$З = S_{абс}\gamma_{ср}'. \qquad (7)$$

Полученный вес заполнителей с поправкой на плотность бетона разбивают на мелкий и крупный заполнители по установленному ранее значению q и находят веса мелкого и крупного заполнителей.

Таким образом устанавливается состав тяжелого бетона, удовлетворяющего требованиям заданного объемного веса, прочности и подвижности.

Пробным затворением, как обычно, корректируют состав.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ПРИМЕР РАСЧЕТА СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА

Требуется рассчитать состав вибрированного бетона марки 200 на портланд-цементе активностью 400 на плотном магнетитовом щебне при твердении в нормальных естественных условиях. Заданная осадка 2—3 *см*.

По формуле (1) находим

$$\frac{Ц}{B} = \frac{R_б}{R_ц \cdot 0{,}55} + 0{,}5 = \frac{200}{400 \cdot 0{,}55} + 0{,}5 = 1{,}41.$$

Взяв из графика рис. 1 среднее значение в заштрихованной области для $R_б$=200, находим $Ц/B$=1,55. В запас принимаем последнее значение.

Из графика рис. 2 по кривой для плотного щебня находим, что для получения осадки конуса 2—3 *см* нужно дать для бетонной смеси на плотном магнетитовом щебне 170 *л* воды на 1 *м*³ бетона.

Предполагаемый объемный вес свежеуложенного магнетитового бетона γ =3 *т/м*³.

Расход цемента будет

$$Ц = B \frac{Ц}{B} = 170 \cdot 1{,}55 = 263 \ кг.$$

Расход заполнителей на 1 *м*³ бетона

$$З = V_б - (Ц + B) = 3\,000 - (263 + 170) = 2\,567 \ кг.$$

Вычисляем содержание мелкого заполнителя в смеси заполнителей по формуле (5), зная, что

$\gamma_м$ — удельный вес мелкого заполнителя, равный 4;

$\gamma_к$ — удельный вес крупного заполнителя, равный 4,35;

$\gamma_м$ — объемный вес мелкого заполнителя, равный 2,4;

$\gamma_к$ — объемный вес крупного заполнителя, равный 2,5;

b — абсолютный объем крупного заполнителя, равный 0,58.

Имеем

$$q' = \frac{(1-b)\,\gamma_м}{\gamma_к + (1-b)\,\gamma_м} = \frac{\left(1 - \frac{2{,}5}{4{,}35}\right) 2{,}4}{2{,}5 + \left(1 - \frac{2{,}5}{4{,}35}\right) 2{,}4} = \frac{1}{2{,}5+1} = 0{,}28.$$

Прибавляя 0,1, находим q=0,38.

Таким образом, состав магнетитового бетона, удовлетворяющий заданным условиям, будет:

цемента	263	*кг*
воды	170	»
мелкого магнетитового заполнителя . . . . . 2 567 · 0,38 =	975	»
магнетитового щебня . . . . 2 567 · 0,62 =	1 592	»
Общий вес	3 000	*кг*

Он отвечает заданному объемному весу в свежеизготовленном состоянии.

Рассчитанный состав должен удовлетворить трем поставленным требованиям: прочности, подвижности и заданному объемному весу. После проверки состава путем затворения пробного замеса и установления соответствия заданным показателям состав выдают на производство..

Проверка рассчитанных составов на плотном магнетите дала следующие результаты (табл. 3).

Таблица 3

Ц/В	Показатель удобоукладываемости в сек.	Объемный вес в *т/м*³	Расход основных материалов в *кг/м*³		Предел прочности при сжатии в *кг/см*²
			цемента	воды	
1,73	15	2,98	315	183	203
1,88	30	3	280	149	253
1,52	30	2,95	230	152	194
1,62	50	2,92	230	143	228
1,59	30	3	230	146	229
1,66	50	3	230	140	239

Значения прочности ложатся в заштрихованной области рис. 1, и поэтому для получения заданной марки 200 следует применять *Ц/В* в пределах от 1,5 до 1,7, в зависимости от потребной подвижности бетонной смеси. Бетон на примененном портланд-цементе Воскресенского завода обладает пониженной водопотребностью, и потому содержание воды оказалось ниже выбранного для заданной подвижности бетонной смеси на плотном щебне, от которого плотный магнетитовый щебень не отличается.

Объемный вес магнетитового бетона получен в пределах 2,92—3 *т/м*³.

В целях проверки формул прочности и кривых подвижности на местных материалах производят пробное затворение для трех-четырех значений цементно-водного отношения и по результатам испытаний кубов строят зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения, аналогичную показанной на рис. 1.

Одновременно значения показателя подвижности или жесткости наносят на кривые, подобные показанным на рис. 2 и 3.

По треугольному графику выбор ориентировочного состава производится следующим образом. На пересечении луча цементно-водного отношения $Ц/В=1{,}55$ $В/Ц=0{,}65$ с заштрихованной областью подвижности бетонной смеси по нижней границе находят точку, которая дает расход воды $В=160$ *кг* и расход цемента $Ц=245$ *кг*. Абсолютный объем заполнителей $S_{абс}=0{,}76$.

Средний удельный вес заполнителей

$$\gamma_{ср} = (1-q)\,\gamma'_к + \gamma'_м\, q = 4{,}35 \cdot 0{,}62 + 4 \cdot 0{,}38 = 4{,}22.$$

Вес заполнителей с учетом коэффициента плотности бетона 0,9 будет

$$З = 0{,}66 \cdot 4{,}22 = 2\,785 \text{ кг}.$$

Получаем ориентировочный состав бетона:

цемента	245 *кг*
воды	160 »
крупных заполнителей . . .	$2\,785 \cdot 0{,}62 = 1\,727$ »
мелких » . . .	$2\,785 \cdot 0{,}38 = 1\,058$ »
Общий вес	3 190 *кг*

Объемный вес получен на 190 *кг/м*³ больше расчетного за счет неточности графического определения. Пробным затворением корректируется состав и выдается на производство. Полученные при пробном затворении данные о подвижности и составах наносятся на треугольный график, который после накопления опытных данных для местных материалов будет давать уже более точные значения весов компонентов бетона.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА СВЯЗАННОЙ ВОДЫ В ГИДРАТНОМ БЕТОНЕ

Рассчитаем состав бетона на лимонитовом заполнителе и портландцементе марки 400. Выбранное водоцементное отношение, удовлетворяющее данной прочности, $В/Ц=0{,}78$. Расход цемента на 1 *м*³—350 *кг*, воды для затворения — 275 *кг*.

Химически связанной воды в цементном камне

$$0{,}2 \cdot 350 = 70 \text{ л}.$$

Мелкого и крупного заполнителей в бетоне при его объемном весе в свежеизготовленном состоянии 2,6 будет

$$З = 2{,}6 - (350 + 275) = 1\,975 \text{ кг}.$$

Принимая, что в лимоните имеется связанной воды 11%, находим количество воды:

$$1\,975 \cdot 0{,}11 = 217{,}2 \text{ л}.$$

Общее количество связанной воды будет

$$В = 70 + 217{,}2 = 287{,}2 \text{ л}.$$

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИГОТОВЛЕНИЮ И УКЛАДКЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ (ТЯЖЕЛЫХ И ГИДРАТНЫХ) БЕТОНОВ В ЗАЩИТНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ

1. Бетонная смесь, изготовленная на чугунном скрапе, магнетите или лимоните, труднее перемешивается в бетономешалке, поэтому время перемешивания следует увеличивать по сравнению с временем перемешивания обычной бетонной смеси. Время перемешивания не должно быть менее 2 мин. Оптимальное время перемешивания устанавливается опытом.

2. В целях предупреждения от поломок бетономешалок, вызванных их перегрузкой, следует уменьшить объем замеса бетономешалки обратно пропорционально объемному весу применяемой бетонной смеси, принимая объемный вес обычного бетона 2 300 *кг/м*³. Например, при проектном объемном весе тяжелого бетона 4 *т/м*³ номинальный объем замеса бетономешалки емкостью 500 *л* не должен превышать

$$\frac{500 \cdot 2 \cdot 3}{4} = 285 \text{ } л.$$

3. Формы для укладки бетонной смеси должны быть рассчитаны на повышенное давление вибрированного бетона на тяжелых заполнителях. Давление в пределах радиуса действия вибратора принимается равным гидростатическому от уплотненного свежеуложенного бетона с учетом дополнительного давления от сбрасывания бетонной смеси на опалубку по «Техническим условиям на производство и приемку общестроительных работ» 1956 г.

4. Транспортировка бетонной смеси на тяжелых заполнителях должна производиться при помощи бадей с открывающимся дном. Запрещается применять для транспортировки бетонной смеси на тяжелых заполнителях ленточные

транспортеры или другие транспортные средства, приводящие к расслаиванию бетонной смеси.

5. Укладку и уплотнение бетонной смеси на тяжелых заполнителях следует производить с обязательным применением вибраторов, наблюдая за тем, чтобы не происходило расслоения бетонной смеси при укладке. Укладка бетонной смеси вручную не разрешается. В случае обнаружения расслоения бетонной смеси при укладке с выделением на поверхности избытка цементного раствора и цементного молока следует немедленно устранить причины, вызвавшие расслоение, а уложенный бетон исправить путем введения в него крупных заполнителей, втапливаемых при помощи вибраторов. Жесткие бетонные смеси менее подвержены расслаиванию, и поэтому их следует предпочесть малоподвижным смесям, но при этом должно быть обеспечено качественное уплотнение бетона во всех сечениях защитного ограждения, особенно у закладных деталей, труб, отверстий.

6. Для увеличения вязкости бетонной смеси вместо обычных песков рекомендуется применять лимонитовые пески, обладающие значительно большей вязкостью (в 10—15 раз), чем обычные пески. Для повышения вязкости возможно также введение в обычные растворы бентонитовой глины в количестве не более 1% от веса песка.

При применении лимонитовых песков или добавок, повышающих вязкость и уменьшающих расслоение, затрудняется плотная укладка бетона. В целях облегчения укладки при сохранении нерасслаиваемости бетонной смеси целесообразно применять пластифицированные цементы или пластифицирующие добавки (омыленный древесный пек, абиетат натрия, сульфитно-спиртовая барда).

Подвижность бетонной смеси при этом должна быть в пределах 2—4 *см*. Применение более жестких смесей с осадкой конуса, равной нулю, рекомендуется в ограждениях большой толщины с малым количеством закладных деталей, труб и отверстий.

Подачу бетонной смеси к месту укладки возможно производить при помощи хоботов или виброхоботов при обязательном условии заполнения смесью всего сечения трубы.

7. Укладку бетонной смеси на тяжелых заполнителях следует производить горизонтальными слоями с тщательным уплотнением каждого слоя, предпочтительно внутренними вибраторами. Рабочие швы бетонирования должны быть горизонтальными с выступающим на поверхность заполнителем на половину своего диаметра.

Бетонные смеси на лимонитовом заполнителе впитывают влагу до определенного предела и затем легко ее отдают в процессе укладки вибраторами, вызывая расслоение бетонной смеси. Следует поэтому избегать избыточного введения воды в лимонитовую бетонную смесь.

8. Толщина укладываемого обычным способом бетона не должна превышать 200 *мм* при обработке слоя поверхностными вибраторами.

9. При укладке бетонной смеси вибраторами должна быть обеспечена полная однородность бетона как по высоте каждого укладываемого слоя, так и по горизонтали.

10. Уход за уложенным бетоном производится в соответствии с требованиями «Технических условий на производство и приемку общестроительных работ».

Академия строительства и архитектуры СССР

УКАЗАНИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ СПЕЦИАЛЬНЫХ (ТЯЖЕЛЫХ И ГИДРАТНЫХ) БЕТОНОВ

* * *

Госстройиздат
Москва, Третьяковский проезд, д. 1

* * *

Редактор издательства *В. В. Петрова*
Технический редактор *Э. М. Элькина*
Корректоры: *Г. И. Кузьмина, Л. А. Емцова*

Сдано в набор 18/IX—1958 г. Подписано к печати 15/V—1959 г.
Т-04772 Бумага $84\times108^{1}/_{32}$=6,2 бум. л.—1,64 усл.+1 вкл. 0,25 п. л. (2,0 уч.-изд л.)
Тираж 10 000 экз. Изд. № VI—4023. Зак. № 947. Цена 1 руб.

фия № 4 Госстройиздата, г. Подольск, Рабочая ул., 17/2.

gost.e-ecolog.ru