

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»

О.А. Корчагина, В.Г. Однолько

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЁЛОГО, ЛЁГКОГО И СИЛИКАТНОГО БЕТОНА

Рекомендовано Учёным советом в качестве учебного пособия
для студентов очной и заочной форм обучения
по направлению 270100 «Строительство»



Тамбов
Издательство ГОУ ВПО ТГТУ
2010

УДК 666.972.1(075)
ББК НЗЗ1я73-5/7я73-5
К703

Рецензенты:

Исполнительный директор ООО «Эксперт-Сервис»
А.Г. Воронков

Доктор технических наук, доцент ГОУ ВПО ТГТУ
П.В. Монастырев

Корчагина, О.А.

К703

Проектирование состава тяжёлого, лёгкого и силикатного бетона : учебное пособие / О.А. Корчагина, В.Г. Однолько. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с. – 75 экз.

ISBN 978-5-8265-0923-4

Рассмотрены вопросы по проектированию состава тяжёлого, лёгкого и силикатного бетона. Приведены материалы для решения задач по расчёту состава бетонов.

Предназначено для студентов, изучающих дисциплину «Материаловедение и ТКМ» очной и заочной форм обучения по направлению 270100 «Строительство».

УДК 666.972.1(075)

ББК НЗЗ1я73-5/7я73-5

ISBN 978-5-8265-0923-4

© Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Тамбовский государственный технический университет»
(ГОУ ВПО ТГТУ), 2010

Учебное издание

КОРЧАГИНА Ольга Алексеевна,
ОДНОЛЬКО Валерий Григорьевич

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЁЛОГО,
ЛЁГКОГО И СИЛИКАТНОГО БЕТОНА**

Учебное пособие

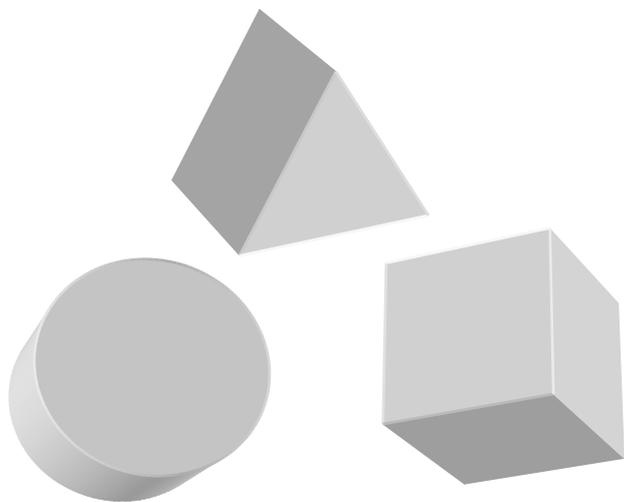
Редактор З.Г. Чернова
Инженер по компьютерному макетированию М.С. Анурьева

Подписано в печать 05.06.2010
Формат 60 × 84 /16. 5,58 усл. печ. л. Тираж 75 экз. Заказ № 312.

Издательско-полиграфический центр ГОУ ВПО ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

О.А. КОРЧАГИНА, В.Г. ОДНОЛЬКО

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЁЛОГО, ЛЁГКОГО И СИЛИКАТНОГО БЕТОНА



Тамбов
♦Издательство ГОУ ВПО ТГТУ♦
2010

ВВЕДЕНИЕ

Бетоны на основе неорганических вяжущих веществ представляют собой искусственные строительные конгломераты, получаемые в результате твердения рациональной по составу, тщательно перемешанной и уплотнённой бетонной смеси из вяжущего вещества, воды и заполнителей.

Кроме основных компонентов в состав бетонной смеси могут вводиться дополнительные вещества специального назначения. Бетоны относятся к самым массовым по применению в строительстве вследствие их высокой прочности, надёжности и долговечности при работе в конструкциях зданий и сооружений. Кроме высокой прочности бетоны на основе неорганических вяжущих веществ обладают достоинствами лёгкой формуемости бетонной смеси с получением практически любых наперёд заданных форм и размеров изделий и конструкций, доступной высокой механизации технологических операций и т.п.

Большая экономичность изделий из бетона состоит в том, что для их производства применяют свыше 80% объёма местного сырья – песка, щебня, гравия, побочных продуктов промышленности в виде шлака, золы и др.

В данном пособии приводятся примеры расчёта составов тяжёлых, лёгких и силикатных бетонов различного состава.

1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЁЛОГО БЕТОНА

Для проектирования состава бетона необходимо знать:

- марку бетона и срок, к которому она должна быть достигнута;
- вид и назначение (условия эксплуатации) конструкции, условия уплотнения бетона;
- удобоукладываемость бетонной смеси, выраженную осадкой стандартного конуса в сантиметрах или показателем жёсткости в секундах;
- зерновой состав заполнителей;
- истинную и насыпную плотность цемента и заполнителей в сухом состоянии, насыпную плотность заполнителей в естественном состоянии, а также влажность заполнителей.

Проектирование состава бетона начинают с оценки характеристик материалов, используемых для изготовления бетона.

Рациональную марку цемента определяют в зависимости от марки бетона (по прочности на сжатие) по табл. 1.1.

1.1. Рекомендуемые марки цемента для бетонов разных классов

Марка бетона	M150	M200	M250	M300	M350	M400	M450	M500	M600
Марка цемента	300	300 ... 400	300 ... 400	400 ... 500	400 ... 500	500 ... 600	500 ... 600	500 ... 600	600
Класс бетона	B10	B15	B20	B22,5	B25	B30	B35	B40	B45

При необходимости применения цемента высокой активности для бетонов низких марок следует применять тонкомолотые минеральные добавки: доменный гранулированный шлак, золу ТЭС, известняк, каменную муку и др. Количество добавки рассчитывают в зависимости от активности имеющегося цемента.

Вид цемента назначают с учётом условий работы конструкций. В частности, при нормальных условиях эксплуатации – внутри зданий и на открытом воздухе, когда коррозионные воздействия исключены, рекомендуется использовать портландцемент или портландцемент с минеральными добавками, допускается также применение шлакопортландцемента.

При наличии коррозионных воздействий следует использовать специальные цементы: сульфатостойкий портландцемент, пуццолановый портландцемент и др.

Истинную и насыпную плотность цемента можно принимать в пределах, указанных в табл. 1.2.

1.2. Значения плотностей цемента

Вид цемента	Истинная плотность, $\rho_{ист.}, \text{Г/см}^3$	Насыпная плотность, $\rho_{н.}, \text{кг/м}^3$
Портландцемент и некоторые его разновидности (гидрофобный, пластифицированный, сульфатостойкий)	3,0 ... 3,3	1000 ... 1400
Шлакопортландцемент	2,8 ... 3,1	1100 ... 1400
Пуццолановый портландцемент	2,8 ... 3,1	950 ... 1300

1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Для оценки характеристик заполнителей необходимо определить соответствие их зернового состава требованиям стандарта, а также вычислить крупность песка и наибольшую крупность гравия или щебня.

С этой целью отдельно для мелкого и крупного заполнителей по данным о частных остатках на ситах находят полные остатки A_i %, равные сумме частных остатков на данном сите и на всех ситах крупнее данного. По найденным полным остаткам строят кривые просеивания песка и щебня (гравия), которые сопоставляют с требованиями стандартов (рис. 1.1 – 1.3).

ПО, %

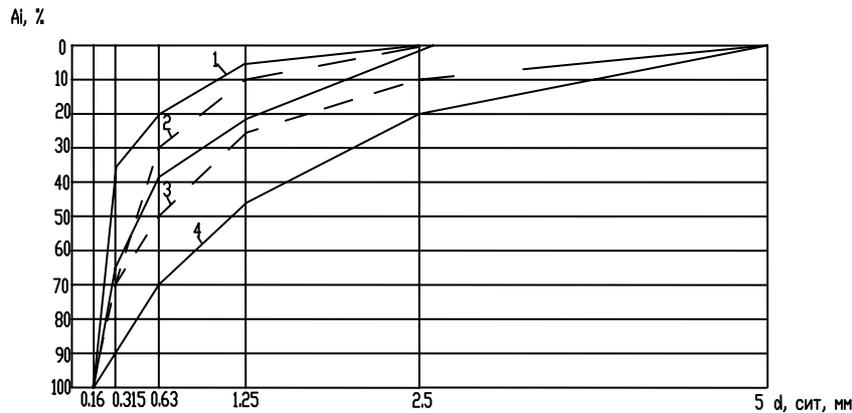


Рис. 1.1. График зернового состава песка:

1 – допустимая нижняя граница крупности песка ($M_k = 1,5$);
 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($M_k = 2,0$)
 для бетонов марки М200 и выше; 3 – рекомендуемая нижняя граница ($M_k = 2,5$)
 для бетонов марки М350 и выше; 4 – допускаемая верхняя граница крупности

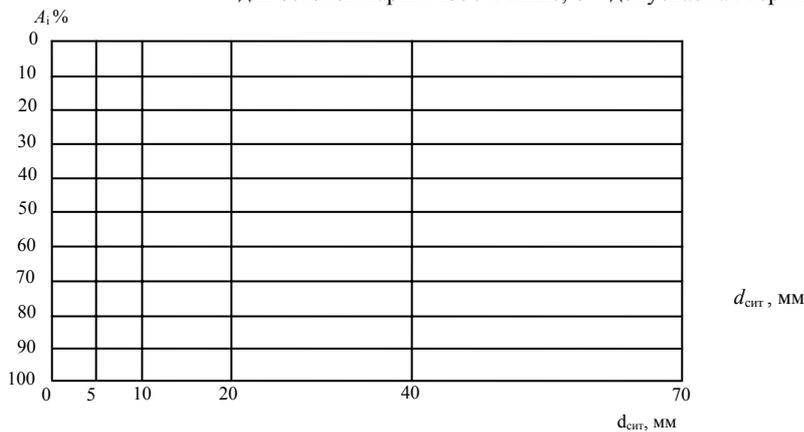


Рис. 1.2. График зернового состава крупного заполнителя

(A_i – полные остатки на соответствующих ситах, %)

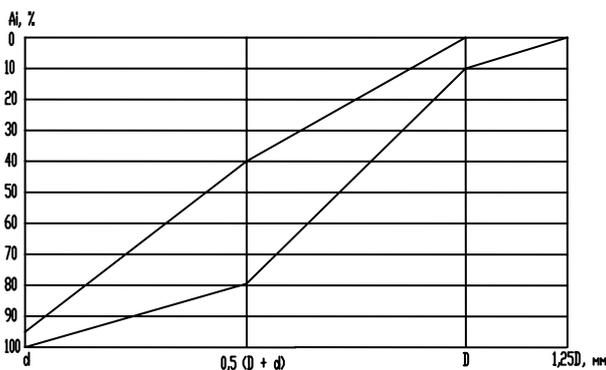


Рис. 1.3. Область допустимых значений крупного заполнителя

(A_i – полные остатки на соответствующих ситах, %)

От крупности песка зависит его водопотребность в бетоне $B_{п}$; значение которой находят по рис. 1.4.

Для оценки крупности песка вычисляют безразмерный показатель – модуль крупности

$$M_k = \frac{A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,14}}{100}$$

Следует иметь в виду, что для построения кривой просеивания крупного заполнителя необходимо предварительно вычислить его наибольшую крупность.

Наибольшая крупность D характеризуется размером отверстий сита, полный остаток на котором ещё не превышает 10%.

Наименьшая крупность d – характеризуется размером отверстий первого из сит, на котором полный остаток составляет не менее 95% массы просеиваемой пробы.

Вычисленную наибольшую крупность заполнителя надо сопоставить с размерами сечения конструкции. При бетонировании железобетонных балок, колонн, рам наибольший размер зёрен должен быть не более $\frac{3}{4}$ наименьшего расстояния в свету между стержнями арматуры, а для конструкций в виде плит – не более $\frac{1}{2}$ толщины плиты.

1.2. РАСЧЁТ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ НА 1 м³ БЕТОНА

Формулы прочности бетона

Уравнение Боломея-Скрамтаева:

$$R_b = AR_c(\text{Ц/В} - 0,5), \text{ при } \text{Ц/В} \leq 2,5, \text{ В/Ц} \geq 0,4, \text{ Ц/В} \leq 2,5;$$

$$R_b = A_1R_c(\text{Ц/В} + 0,5), \text{ при } \text{Ц/В} > 2,5, \text{ В/Ц} < 0,4, \text{ Ц/В} > 2,5,$$

где R_b – заданная марка бетона в возрасте 28 сут; R_c – активность (марка) цемента или смешанного вяжущего; A и A_1 – коэффициенты, учитывающие качество заполнителей (табл. 1.3).

Прочность бетона определяют цементно-водное отношение, необходимое для получения заданной марки бетона.

$$\text{Для } \text{Ц/В} \leq 2,5 \text{ имеем } \text{Ц/В} = \frac{R_b}{AR_c} + 0,5,$$

$$\text{а для } \text{Ц/В} > 2,5 \quad \text{Ц/В} = \frac{R_b}{A_1R_c} - 0,5.$$

Далее рассчитывают водоцементное отношение

$$\text{В/Ц} = \frac{1}{\text{Ц/В}}.$$

При определении состава бетона для конструкций, работающих в нормальных условиях эксплуатации, принимают рассчитанное водоцементное отношение, которое обеспечивает требуемую прочность бетона. Однако в ряде случаев к конструкциям могут предъявляться дополнительные требования – по морозостойкости, водонепроницаемости, стойкости в агрессивных средах и т.п.

Введение таких требований преследует цель обеспечить необходимую долговечность бетона путём повышения его плотности. Плотность бетона в первом приближении находится в обратной зависимости от водоцементного отношения. Поэтому при расчёте состава бетона, работающего в специфических условиях, необходимо учесть ограничения В/Ц из условий прочности и долговечности.

1.3. Значения характеристик заполнителей бетона

Характеристика заполнителей бетона	A	A_1
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

Примечания. *Высококачественные материалы:* щебень из плотных горных пород высокой прочности, песок оптимальной крупности и портландцемент высокой активности; заполнитель чистый, промытый, фракционированные, с оптимальным зерновым составом смеси фракций.

Рядовые материалы: заполнители среднего качества, в том числе гравий, отвечающие требованиям стандарта, портландцемент средней активности и высокомарочный шлакопортландцемент.

Материалы пониженного качества: крупный заполнитель низкой активности и мелкие пески, цементы низкой активности.

1.2.1. Определение расхода воды

Расход воды определяют в зависимости от требуемой удобоукладываемости смеси и крупности заполнителя по табл. 1.4.

Подвижность – способность бетона перемещаться под действием собственного веса.

Формула учитывает изменение расхода воды при использовании песков с водопотребностью, отличающейся от 7% (поправка на расход воды в бетонной смеси составляет 5 кг на каждый процент изменения водопотребности песка).

Окончательный расход воды рассчитывают, вводя поправку на водопотребность песка (V_n)

$$V = V_{\text{табл}} + (V_n - 7)5 \text{ кг,}$$

где $V_{\text{табл}}$ – расход воды, определяемый по табл. 1.4; V_n – водопотребность песка, определяемая по рис. 1.4.

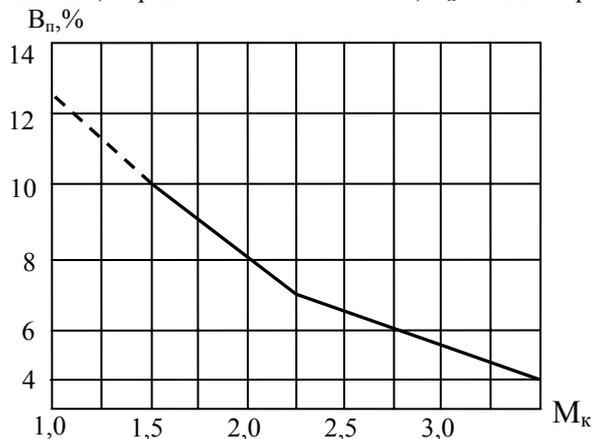


Рис. 1.4. Водопотребность песка в зависимости от модуля крупности

1.4. Расход воды на 1 м³ бетона

Осадка конуса, ОК, см	Показатель жёсткости, ПЖ, с	Расход воды на 1 м ³ бетона, кг, при наибольшей крупности							
		гравия, мм				щебня, мм			
		10	20	40	70	10	20	40	70
–	40 ... 50	150	135	125	120	160	150	135	130
–	25 ... 30	160	145	130	125	170	160	145	149
–	15 ... 20	165	150	135	130	175	165	150	145
–	10 ... 15	175	160	145	140	185	175	160	155
2 ... 4	–	190	175	160	155	200	190	175	170
5 ... 7	–	200	185	170	165	210	200	185	180
8 ... 10	–	205	190	175	170	215	205	190	185
10 ... 12	–	215	205	190	180	225	215	200	190
12 ... 16	–	220	210	197	185	230	220	207	195
16 ... 20	–	227	218	203	192	237	228	213	202

Примечания: 1. Табличные данные справедливы для бетона, изготовляемого на песке средней крупности с водопотребностью $V_n = 7\%$.

2. В случае применения пуццоланового портландцемента расход воды увеличивают на 15 ... 20 кг.

3. При расходе цемента свыше 400 кг расход воды увеличивают на 1 кг на каждые 10 кг цемента сверх 400 кг.

1.2.2. Определение расхода цемента

Определив расход воды и взяв из формул значения Ц/В, или В/Ц, вычисляют расход цемента по формулам

$$Ц = В \cdot Ц/В \text{ или } Ц = В : В/Ц.$$

Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется меньше допустимого по нормам (табл. 1.5), то следует увеличить его до требуемой нормы, сохранив прежнее Ц/В. Расход воды при этом пересчитывают, исходя из увеличенного расхода цемента.

1.5. Значения минимально допустимого расхода цемента

Условия работы конструкций	Минимально допустимый расход цемента, кг/м ³ , при уплотнении бетона	
	с вибрацией	без вибрации
Бетон находящийся в соприкосновении с водой, подверженный частому замораживанию и оттаиванию	240	265
Бетон, не защищённый от атмосферных воздействий	220	250
Бетон, защищённый от атмосферных воздействий	200	220

1.2.3. Определение расхода заполнителей

Расчёт расхода заполнителей определяют, опираясь на следующие предположения:

а) объём плотно уложенного бетона, принимаемый в расчёте равным 1 м³ или 1000 дм³, без учёта воздушных пустот складывается из объёма зёрен мелкого и крупного заполнителей и объёма цементного теста, заполняющего пустоты между зёрнами заполнителей. Это положение выражается уравнением абсолютных объёмов

$$Ц/\rho_{ц} + В/\rho_{в} + П/\rho_{п} + К/\rho_{к} = 1000;$$

б) пустоты между зёрнами крупного заполнителя должны быть заполнены цементно-песчаным раствором с некоторой раздвижкой зёрен.

Это положение записывается уравнением

$$Ц/\rho_{ц} + П/\rho_{п} + В/\rho_{в} = \frac{К}{\rho_{н.к.}} \alpha_{к} K_{р.з.},$$

где Ц, В, П, К – расходы цемента, воды, песка и крупного заполнителя, кг; $\rho_{ц}$, $\rho_{п}$, $\rho_{в}$, $\rho_{к}$ – плотность этих материалов, кг/дм³; $\rho_{н.к.}$ – насыпная плотность крупного заполнителя, кг/дм³; $\alpha_{к}$ – пустотность крупного заполнителя в насыпном состоянии в долях единицы объёма, вычисляемая по формуле

$$\alpha_{к} = 1 - \rho_{н.к.} / \rho_{к},$$

$K_{р.з.}$ – безразмерный коэффициент раздвижки зёрен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором – отношение объёма растворной части бетонной смеси к объёму пустот в крупном заполнителе.

Пустотность бетона – отношение объёма пустот к объёму заполнителя в стандартном рыхлом состоянии.

Решая совместно уравнения, получим формулы для определения расхода крупного заполнителя:

$$К = \frac{1000}{\frac{\alpha_{к} k_{р.з.}}{\rho_{н.к.}} + \frac{1}{\rho_{к}}}, \text{ кг,}$$

и песка $П = [1000 - (Ц/\rho_{ц} + В/\rho_{в} + К/\rho_{к})] \rho_{п}$, кг.

Для жёстких бетонных смесей, характеризуемых показателем жёсткости, значения $k_{р.з.}$ в формуле определения расхода крупного заполнителя принимают равными 1,05 ... 1,15, в среднем 1,1.

Для пластичных бетонных смесей, характеризуемых осадкой конуса, значения $k_{р.з.}$ следует назначать с учетом водопотребности песка. Вначале определяют исходное значение коэффициента раздвижки зёрен $k_{р.з.}$ (рис. 1.5), причём абсолютный объём цементного теста вычисляют по формуле

$$V_{ц.т.} = Ц/\rho_{ц} + В/\rho_{в}.$$

Затем находят $k_{р.з.}$ из выражения с учётом поправки на водопотребность песка

$$k_{р.з.} = k'_{р.з.} + (7 - B_{п})0,03,$$

где $B_{п}$ – водопотребность песка.

На этом заканчивается расчёт состава бетона.

Расходы цемента, воды, крупного и мелкого заполнителей выписывают отдельно. При сложении их получают среднюю плотность бетонной смеси в кг/м³.

Допустимое отклонение по плотности бетона (составляет $\pm 2\%$) – это отношение физической средней плотности уложенного в опалубку бетона к расчётной.

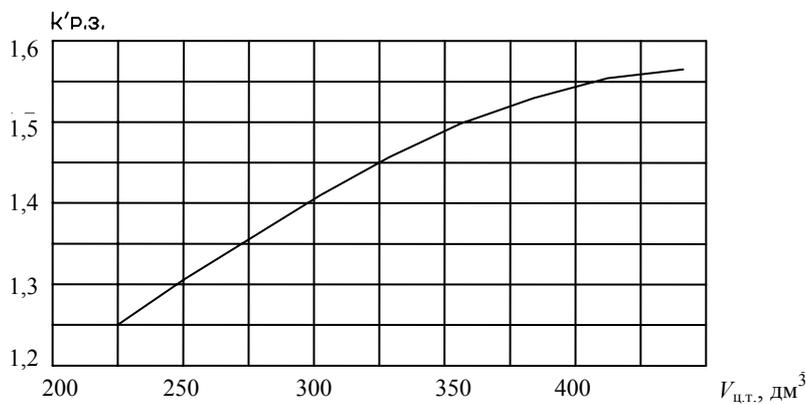


Рис. 1.5. Значения $k'_{p,з}$ для пластичных бетонных смесей, изготовляемых с применением песка средней крупности ($B_{п} = 7\%$)

1.2.4. Номинальный (лабораторный) состав бетона по массе и по объёму

Состав бетона удобно представить в относительных единицах по массе или объёму. За единицу при этом принимают массу (объём) цемента, выражая количество других компонентов по отношению к цементу.

Состав бетона по массе

$$\frac{\text{Ц}}{\text{Ц}} : \frac{\text{В}}{\text{Ц}} : \frac{\text{П}}{\text{Ц}} : \frac{\text{К}}{\text{Ц}} = 1 : \frac{\text{В}}{\text{Ц}} : \frac{\text{П}}{\text{Ц}} : \frac{\text{К}}{\text{Ц}},$$

где Ц, В, П, К – расходы цемента, воды, песка и крупного заполнителя в кг на 1 м^3 бетона.

Состав бетона по объёму

$$\frac{V_{ц}}{V_{ц}} : \frac{V_{п}}{V_{ц}} : \frac{V_{к}}{V_{ц}} = 1 : \frac{V_{п}}{V_{ц}} : \frac{V_{к}}{V_{ц}},$$

где $V_{ц}$, $V_{в}$, $V_{п}$, $V_{к}$ – расходы цемента, воды, песка и крупного заполнителя в $\text{кг}/\text{м}^3$ бетона.

$$V_{ц} = \text{Ц}/\rho_{н.ц}; V_{п} = \text{П}/\rho_{н.п}; V_{к} = \text{К}/\rho_{н.к}$$

Здесь все обозначения прежние. При выражении состава бетона по объёму В/Ц указывают отдельно по массе.

1.2.5. Рабочий состав бетона по массе и по объёму

Расчёт состава бетона производят исходя из условия, что заполнители находятся в сухом состоянии. Полученный состав бетона называют лабораторным. В действительности песок и крупный заполнитель всегда содержат некоторое количество воды, что необходимо учитывать при назначении рабочего состава бетона. В этом случае определяют влажность заполнителей и учитывают содержащуюся в них воду при дозировке компонентов (масса заполнителей будет несколько больше, чем в лабораторном составе, а воды настолько же меньше).

Расход влажности песка

$$\text{П}' = \text{П} + \text{П}W_{п}$$

Расход влажного заполнителя

$$\text{К}' = \text{К} + \text{К}W_{к}$$

Расход воды

$$\text{В}' = \text{В} - \text{П}W_{п} - \text{К}W_{к},$$

где $W_{п}$ – влажность песка; $W_{к}$ – влажность крупного заполнителя (в долях от 1).

1.2.6. Коэффициент выхода бетона и дозировка материалов (в рабочем состоянии) на замес бетономешалки

При назначении дозировки материалов на замес бетономешалки следует учитывать, что объём готовой бетонной смеси будет меньше суммарного объёма исходных компонентов вследствие уплотнения смеси при перемешивании

$$\beta = \frac{1000}{V_{ц} + V_{п} + V_{к}},$$

(с учётом влажности песка и крупного заполнителя).

Коэффициент выхода бетона всегда меньше единицы и находится в пределах 0,6 ... 0,75 в зависимости от пустотных заполнителей и состава бетона.

Зная коэффициент выхода бетона, можно рассчитать дозировку материалов в рабочем состоянии) на замес бетономешалки:

$$\text{Ц}_V = \frac{\beta V}{1000} \text{Ц}; \text{В}_V = \frac{\beta V}{1000} \text{В}; \text{П}_V = \frac{\beta V}{1000} \text{П}; \text{К}_V = \frac{\beta V}{1000} \text{К},$$

где $\text{Ц}_V, \text{В}_V, \text{П}_V, \text{К}_V$ – расход цемента, воды, песка и крупного заполнителя на замес бетономешалки вместимостью V , кг; $\text{Ц}, \text{В}, \text{К}$ – расход цемента, воды и крупного заполнителя на 1 м^3 бетона, кг.

1.2.7. Температура подогрева заполнителей

При производстве работ в зимнее время, в соответствии с техническими условиями для обеспечения нормального набора прочности в начальные сроки твердения бетона требуется подогревать бетонные смеси до определенной положительной температуры. Цемент обычно не нагревают. Вода подогревается до наиболее высокой температуры (60 ... 80 °С), значения которой также задаются. Температуру нагрева заполнителей можно непосредственно определить из уравнения теплового баланса, которое составляется из условия, что тепло от остывания воды до температуры бетонной смеси передаётся цементу и заполнителям. При этом могут быть два случая: заполнители нагревают до одинаковой или разной температуры. В первом случае температура подогрева определяется сразу из уравнения

$$c_B \text{В} (t_{\text{в.п}} - t_{6,с}) = c_{\text{ц}} \text{Ц} (t_{6,с} - t_{\text{н.ц}}) + c_3 (\text{П} + \text{К}) (t_{6,с} - t_3),$$

где $c_B, c_{\text{ц}}, c_3$ – соответственно удельные теплоёмкости воды, цемента и заполнителя, для практических целей можно принять, что

$$c_{\text{ц}} = c_3 = 0,84 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°С)}, \quad c_B = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°С)},$$

$t_{\text{в.п}}$ – температура, до которой подогревают воду, °С; $t_{6,с}$ – заданная температура бетонной смеси, °С; $t_{\text{н.ц}}$ – начальная температура цемента, °С; t_3 – определяемое значение температуры подогрева заполнителей, °С;

Для упрощения вычислений можно вместо $\text{В}, \text{Ц}, \text{П}$ и К подставить в уравнение теплового баланса соответствующие им части из выражения состава бетона в относительных единицах по массе.

В случае подогрева заполнителей до разных температур уравнение принимает следующий вид:

$$c_B \text{В} (t_{\text{в.п}} - t_{6,с}) = c_{\text{ц}} \text{Ц} (t_{6,с} - t_{\text{н.ц}}) + c_{\text{п}} \text{П} (t_{6,с} - t_{\text{п}}) + c_{\text{к}} \text{К} (t_{6,с} - t_{\text{к}}),$$

где $t_{\text{п}}, t_{\text{к}}$ – определяемые температуры подогрева песка и крупного заполнителя, °С.

Пример. Рассчитать температуру подогрева заполнителей для получения бетонной смеси с температурой +22°С, если начальная температура цемента –2°С, песка – 8°С, гравия –10°С. Воду подогревают до +65°С. Состав бетона по массе 1 : 0,67 : 2,4 : 4,8 (цемент, вода, песок, гравий).

Составляем уравнение теплового баланса для первого случая, подставляя исходные данные:

$$4,2 \cdot 0,67(65 - 22) = 0,84 \cdot 1[22 - (-2)] + 0,84(2,4 + 4,8) \cdot (22 - t_3).$$

Решая это уравнение, получим $t_3 = +5,8^\circ\text{С}$. Таким образом, чтобы бетонная смесь имела температуру +22°С, необходимо нагреть песок на 13,8°С, а крупный заполнитель – на 15,8°С, считая от начальной температуры. При этом конечная температура их нагрева окажется одинаковой.

При необходимости дифференцированного подогрева заполнителей (второй случай) уравнение принимает вид

$$4,2 \cdot 0,67(65 - 22) = 0,84 \cdot 1[22 - (-2)] + 0,84 \cdot 2,4(22 - t_{\text{п}}) + 0,84 \cdot 4,8(22 - t_{\text{к}}),$$

или после преобразования

$$100,8 = 0,84 \cdot 2,4(22 - t_{\text{п}}) + 0,84 \cdot 4 \cdot 4,8(22 - t_{\text{к}}).$$

Можно совершенно произвольно поделить дефицит тепла в 100,8 кДж между выражениями правой части равенства и каждый раз получать разные конечные температуры подогрева песка и крупного заполнителя. Поделим, например, пополам. Тогда получим:

$$50,4 = 0,84 \cdot 2,4(22 - t_{\text{п}}); \quad t_{\text{п}} = -3,1^\circ\text{С};$$

$$50,4 = 0,84 \cdot 4,8(22 - t_{\text{к}}); \quad t_{\text{к}} = -3,1^\circ\text{С};$$

Как видно из приведённого расчёта, конечная температура подогрева заполнителей с достаточной для практических целей точностью может быть определена и без знания их начальной температуры и состояния, объём макро и микро пор, которые необходимо учитывать в более точных методах расчёта: $50,4 = 0,84 \cdot 2,4(22 - t_{\text{п}}); \quad t_{\text{п}} = -3,1^\circ\text{С};$

1.2.8. Пористость бетона

Многие важные свойства бетона – морозостойкость, водопроницаемость, коррозионная стойкость – тесно связаны с особенностями структуры, в частности, с пористостью бетона. В плотно уложенном бетоне поры образуются в основном вследствие испарения свободной воды. Размеры возникающих пор неодинаковы. Отрицательно влияют на перечисленные выше свойства бетона макропоры, размер которых более 10^{-5} см.

Более мелкие поры, заполненные адсорбционно связанной с цементным гелем водой, не оказывают вредного влияния на морозостойкость и водонепроницаемость бетона. Поэтому для оценки этих свойств бетона важно знать его макропористость, которую можно вычислить следующим образом. Цемент связывает химически (считая от массы цемента) воды ω и примерно столько же адсорбционно в микропорах геля. Следовательно, общее количество воды, связанной цементом, будет 2ω . Объём макропор (капиллярных) Π_k , %, образованных несвязанной водой, определяют по формуле

$$\Pi_k = \frac{B - 2\omega\Pi}{1000} 100, \%$$

где B – расход воды затворения на 1 м^3 бетона, кг; ω – относительное количество воды, связанной цементом, в долях единицы; Π – расход цемента на 1 м^3 бетона, кг.

Общую пористость бетона Π_6 рассчитывают по формуле

$$\Pi_6 = \frac{B - \omega\Pi}{1000} 100, \%$$

Пример. В бетоне 28-суточного возраста портландцемент химически связывает примерно 15 % (0,15) воды по массе. При расходе цемента 300 кг $B/\Pi = 0,6$ макропористость бетона составит (расход воды примем равным 180 кг)

$$\Pi_k = 180 - 2 \cdot 0,15 \cdot 300 : 10 = 9\%,$$

а общая пористость (с учётом испарения вода из микропор)

$$\Pi_6 = 180 - 0,15 \cdot 300 : 10 = 13,5\%.$$

Макропористость можно уменьшить снижением B/Π , что достигается комплексом средств: тщательным подбором зернового состава заполнителей с минимальным количеством мелких частиц, применением пластифицированных или гидрофобных цементов, добавок поверхностно-активных веществ, интенсивным уплотнением бетонной смеси.

1.2.9. Определение расхода клинкерной добавки

Если вид и марка цемента заранее не указаны, то перед началом расчёта необходимо проверить соотношение марок цемента и бетона. В случае, если $R_{\text{ц}}/R_6$ больше рекомендуемого табл. 1.1, следует разбавить клинкерный цемент тонкомолотый минеральной добавкой.

Количество её при этом определяют по формуле

$$D = \frac{R_{\text{ц}} - R_{\text{см}}}{R_{\text{ц}}} 100 \%,$$

где D – содержание добавки в смешанном вяжущем, % по массе; $R_{\text{ц}}$ – активность (марка) цемента; $R_{\text{см}}$ – активность смешанного вяжущего, соответствующая рекомендуемой в табл. 1.1 марке цемента.

Пример. На строительство поступил цемент марки 400, который используется для получения бетона марки М150, для которой рекомендуется использовать цемент марки 300. Следовательно необходимо ввести добавку:

$$D = \frac{400 - 300}{400} \cdot 100 = 25\%,$$

тогда
$$\frac{\Pi_{\text{см}}}{B} = \frac{R_6}{AR_{\text{см}}} + 0,5 = \frac{150}{0,6 \cdot 300} + 0,5 = 1,33,$$

где $\Pi_{\text{см}}$ – масса смешанного цемента.

Считая, что добавка не изменяет водопотребности бетонной смеси, определяем расход смешанного вяжущего, а также клинкерного цемента и добавки в отдельности:

$$\Pi = \Pi_{\text{см}} = 1,33B,$$

Масса добавки $D = 1,33 \cdot B \cdot 0,25$, а цемента $\Pi' = \Pi_{\text{см}} - D$.

Изменение расхода цемента по сравнению с первоначальным определим по формуле

$$\Delta\Pi = \Pi - \Pi'.$$

1.2.10. Случай, когда заданная марка бетона должна быть достигнута в другой срок, ранее или позже 28 суток

Если заданная марка бетона должна быть достигнута ранее или позднее 28 суток.

Часто заданная марка бетона, исходя из производственных условий, должна быть достигнута в другой срок, чем указано в задании. При этом требуется определить изменение расхода цемента.

Пусть, например, марка бетона М300 должна быть получена в возрасте 20 дней, а не 28, как указано в задании. В этом случае прочность бетона должна быть приведена к марочной, т.е. той, которую будет иметь бетон в возрасте 28 дней. Воспользуемся для этого простейшей зависимостью

$$R'_{28} = R_{20} \frac{lg_{28}}{lg_{20}},$$

где R'_{28} – марка бетона по прочности на сжатие в возрасте 28 дней; R_{20} – требуемая прочность бетона в срок τ дней ($\tau \geq 3$).

Для приведённого примера будем иметь

$$R'_{28} = 300 \cdot \frac{1,4472}{1,3010} = 334 \text{ кг/см}^2.$$

Полученное значение R'_{28} подставляем в формулу для определения Ц/В и затем при прежнем расходе воды, находим новый расход цемента и далее увеличение или уменьшение расхода цемента.

В приведённом примере

$$\frac{Ц'}{В} = \frac{R'_{28}}{AR_{ц}} + 0,5 = \frac{334}{0,6 \cdot 500} + 0,5 = 1,61 \text{ и } Ц' = \frac{Ц'}{В} В = 1,61 \cdot 180 = 290 \text{ кг, } \Delta Ц = |Ц' - Ц|.$$

1.3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ ПО РАСЧЁТУ СОСТАВА БЕТОНА

Для выполнения домашнего задания исходные данные, согласно своего варианта, выбираются из табл. 1.6 – 1.9.

Для каждого варианта необходимо определить и рассчитать:

1. Вид и марку цемента в зависимости от марки бетона.
2. Соответствие зернового состава песка и крупного заполнителя требованиям стандарта. Модуль крупности и водопотребность песка. Соответствие наибольшей крупности заполнителя размерам сечения конструкции (табл. 1.6, 1.7), где d_{\min} – минимальный размер сечения конструкции, мм; l_{\min} – расстояние в свету между стержнями арматуры, мм.
3. Цементно-водное отношение.
4. Водоцементное отношение.
5. По таблице водопотребности бетонной смеси определить расход воды на 1 м³ бетона.
6. Рассчитать расход цемента. Полученный расход цемента сопоставить с минимально допустимым.
7. Расход материалов на 1 м³ бетона, исходя из необходимости получить плотную смесь; установить среднюю плотность бетонной смеси.
8. Состав бетона в относительных единицах по массе.
9. Состав бетона в относительных единицах по объёму.
10. Изменение дозировки материалов с учётом влажности песка и крупного заполнителя. Рабочий состав бетона в относительных единицах (табл. 1.8).
11. Рабочий состав бетона в относительных единицах по массе.
12. Рабочий состав бетона в относительных единицах по объёму.
13. Коэффициент выхода бетона рабочего состава и объём бетона, полученного в одном замесе бетономешалки вместимостью V дм³ (табл. 1.6).
14. Дозировку материалов (в рабочем состоянии) на замес бетономешалки.
15. Температуру подогрева материалов для получения бетонной смеси с температурой $T^{\circ}\text{C}$ (табл. 1.9).
16. Изменение расхода цемента по сравнению с составом п. 6, если: на строительство поступил портландцемент марки $R_{ц}$ (табл. 1.9) при условии, что расход воды в бетоне остаётся тем же;
17. Изменение расхода цемента по сравнению с составом п. 6, если прочность бетона должна быть достигнута в возрасте τ_1 и τ_2 дней (табл. 1.9), а не 28 дней, как было указано в условии задания.
18. Пористость бетона в возрасте τ_1 дней нормального твердения, учитывая, что к этому сроку масса химически связанной воды составит химически связанная масса цемента (табл. 1.9).

1.6. Исходные данные к заданию по вариантам

Вариант	Класс Б	$M_b (R_b)$	ОК, см	ПЖ, с	Наименование конструкции	d_{\min} , мм	l_{\min} , мм	V , dm^3
1	B15	200	10 ... 12	–	ж/б плита	300	75	750
2	B20	250	8 ... 10	–	ж/б ригель	400	40	2400
3	B20	250	12 ... 16	–	ж/б балка	300	70	1200
4	B10	150	8 ... 10	–	ж/б балка	300	75	2400
5	B10	150	16 ... 20	–	ж/б балка	300	100	1200
6	B15	200	12 ... 16	–	ж/б плита	200	80	750
7	B20	250	10 ... 12	–	ж/б балка	180	70	2400
8	B15	200	5 ... 7	–	ж/б балка	500	120	750
9	B10	150	2 ... 4	–	ж/б балка	300	100	2400
10	B20	250	8 ... 10	–	ж/б плита	200	50	1200
11	B20	250	2 ... 4	–	ж/б плита	200	50	2400
12	B15	200	5 ... 7	–	ж/б балка	400	100	2400
13	B20	250	2 ... 4	–	ж/б плита	120	100	1000
14	B20	250	2 ... 4	–	ж/б балка	180	75	750
15	B10	150	16 ... 20	–	ж/б балка	300	100	1200
16	B10	100	8 ... 10	–	ж/б плита	450	100	500
17	B10	150	2 ... 4	–	ж/б блок	500	80	1200
18	B22,5	300	5 ... 7	–	ж/б колонна	200	100	425
19	B20	250	2 ... 4	–	ж/б плита	200	100	2400
20	B22,5	300	2 ... 4	–	ж/б балка	400	100	1200
21	B20	250	5 ... 7	–	ригель	250	100	750
22	B15	200	8 ... 10	–	ж/б блоки	200	120	2400
23	B10	150	8 ... 10	–	ж/б блоки	100	100	1200
24	B20	250	2 ... 4	–	ж/б ригель	240	80	750
25	B22,5	300	8 ... 10	–	ж/б колонна	400	80	1200
26	B25	350	–	40 ... 50	ж/б ригель	200	60	750
27	B30	400	–	25 ... 30	ж/б плита	220	50	1200
28	B35	450	–	40 ... 50	ж/б балка	350	88	2400
29	B25	350	–	25 ... 30	ж/б колонна	500	120	750
30	B20	250	–	25 ... 35	ж/б плита	200	85	750
31	B25	350	–	40 ... 50	ж/б балка	300	70	2400
32	B15	200	–	25 ... 30	канал. трубы	120	100	750
33	B30	400	–	15 ... 20	ж/б колонна	800	80	750
34	B15	200	–	15 ... 20	ж/б плита	500	100	1200
35	B20	250	–	10 ... 15	ж/б коллона	200	80	750
36	B20	250	–	10 ... 15	ж/б перегород.	150	85	2400
37	B25	350	–	25 ... 35	ж/б свая	400	80	2400
38	B22,5	300	–	15 ... 20	ж/б балка	400	100	2400
39	B25	350	–	10 ... 15	ж/б плита	250	60	1200
40	B15	200	–	10 ... 12	ж/б плита	150	100	500

где d_{\min} – минимальный размер сечения конструкции, мм ; l_{\min} – расстояние в свету между стержнями арматуры, мм.

1.7. Исходные данные по вариантам

Вариант	Частные осадки, %, на ситах с размером отверстий, мм											
	щебень (гравий)						песок					
	70	40	20	10	5	Ост.	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Ост.
1	–	15	35	20	25	5	15	15	30	25	15	–
2	10	5	35	23	27	0	24	16	27	20	10	3
3	–	4	15	30	41	10	5	15	22	44	14	–
4	–	5	47	30	15	3	1	20	18	36	25	–
5	–	4	40	30	21	5	4	11	32	30	3	20
6	5	15	32	40	8	–	13	20	25	27	10	5
7	–	2	25	30	30	13	8	16	22	24	20	10
8	5	8	40	20	20	7	12	32	28	20	4	4
9	2	20	5	40	30	3	5	35	30	15	10	5
10	–	3	50	15	26	6	20	20	20	20	20	–
11	3	12	50	20	10	5	15	15	30	30	10	–
12	–	8	22	50	15	5	25	20	35	10	5	5
13	–	8	20	50	20	2	25	20	35	5	10	5
14	–	50	20	15	10	5	20	10	30	20	10	10
15	10	20	30	28	12	0	10	23	25	31	11	–
16	–	11	59	10	10	10	25	10	25	15	15	10
17	–	2	25	45	20	8	16	22	20	30	8	4
18	–	2	25	35	28	10	16	22	20	26	12	4
19	–	5	3	62	23	7	10	10	15	20	45	–

20	-	4	50	30	6	10	20	25	17	25	13	-
21	10	45	15	20	7	3	5	35	30	20	10	-
22	-	50	15	20	10	5	5	35	30	20	5	5
23	-	2	22	43	30	3	16	22	20	26	10	6
24	-	-	31	24	42	3	15	12	18	25	15	15
25	5	20	4	29	32	10	15	12	18	25	25	5
26	-	20	45	25	5	5	10	20	30	20	20	-
27	3	30	28	23	7	9	3	6	21	33	30	7
28	-	5	32	40	20	3	25	25	20	20	5	5
29	-	2	50	30	16	2	15	25	20	13	25	2
30	4	14	20	26	30	6	20	20	20	20	10	10
31	-	8	22	40	30	-	5	25	35	20	10	5
32	-	56	24	10	10	-	12	20	22	30	16	-
33	-	1	43	40	8	8	13	20	25	27	15	-
34	-	4	42	16	30	8	20	20	20	20	5	15
35	-	5	25	30	35	5	20	20	20	10	20	10
36	-	8	55	20	15	2	10	20	30	19	20	1
37	-	4	40	30	23	3	15	32	15	18	17	3
38	-	5	50	20	20	5	10	20	20	23	20	7
39	7	20	20	20	25	8	10	15	28	25	20	2
40	-	15	50	20	10	5	10	20	30	15	20	5

1.8. Исходные данные по вариантам

Вариант	Истинная плотность кг/дм ³		Насыпная плотность, кг/дм ³				Влажность по массе, %	
	песок (П)	щебень (Щ)	П _{сух.}	Щ _{сух.}	П _{вл.}	Щ _{вл.}	П	Щ
1	2,64	2,68	1,47	1,56	1,41	1,62	3	1
2	2,65	2,68	1,59	1,43	1,52	1,47	6	2
3	2,62	2,65	1,44	1,50	1,39	1,53	3	1
4	2,64	2,71	1,57	1,53	1,53	1,57	4	2
5	2,64	2,65	1,42	1,50	1,39	1,56	5	2
6	2,62	2,65	1,56	1,42	1,51	1,45	4	1
7	2,68	2,65	1,58	1,48	1,51	1,56	7	2
8	2,65	2,67	1,65	1,35	1,55	1,41	4	1
9	2,67	2,70	1,53	1,56	1,48	1,60	5	2
10	2,64	2,69	1,60	1,55	1,52	1,58	5	2
11	2,61	2,65	1,49	1,54	1,41	1,58	7	3
12	2,62	2,65	1,44	1,50	1,40	1,56	3	1
13	2,70	2,65	1,45	1,50	1,39	1,53	4	2
14	2,62	2,71	1,56	1,51	1,50	1,54	6	3
15	2,65	2,69	1,56	1,54	1,49	1,57	4	1
16	2,64	2,68	1,59	1,57	1,53	1,60	8	4
17	2,63	2,70	1,45	1,39	1,39	1,42	7	3
18	2,66	2,61	1,45	1,31	1,40	1,36	6	3
19	2,64	2,70	1,51	1,57	1,44	1,60	6	2
20	2,64	2,70	1,53	1,46	1,48	1,50	4	3
21	2,64	2,70	1,57	1,46	1,48	1,50	7	3
22	2,64	2,70	1,57	1,48	1,48	1,53	5	3
23	2,66	2,75	1,55	1,41	1,49	1,44	6	2
24	2,64	2,65	1,56	1,42	1,52	1,46	5	3
25	2,63	2,65	1,56	1,42	1,52	1,46	4	2
26	2,65	2,70	1,50	1,35	1,45	1,39	4	3
27	2,62	2,65	1,63	1,42	1,55	1,46	4	2
28	2,65	2,70	1,55	1,53	1,48	1,56	5	2
29	2,59	2,65	1,47	1,56	1,43	1,60	5	2
30	2,64	2,69	1,60	1,55	1,50	1,58	5	2
31	2,67	2,70	1,55	1,48	1,46	1,58	5	2
32	2,67	2,70	1,39	1,50	1,28	1,53	5	3
33	2,61	2,63	1,60	1,49	1,45	1,53	4	1
34	2,64	2,69	1,62	1,55	1,36	1,58	4	2
35	2,65	2,69	1,60	1,50	1,40	1,53	4	2
36	2,65	2,70	1,50	1,35	1,45	1,39	4	3
37	2,64	2,65	1,42	1,50	1,38	1,53	4	5
38	2,64	2,70	1,46	1,55	1,40	1,58	3	2
39	2,62	2,69	1,60	1,48	1,52	1,51	5	3
40	2,67	2,70	1,55	1,53	1,48	1,56	5	2

1.9. Исходные данные по вариантам

Вариант	Задание №15 Температура подогрева материалов для получения бетонной смеси					Задание №16 R_c	Задание №17 Возраст дней		Задание №18 H_2O х. св. %
	цемент (-)	песок (-)	τ_1				τ_1	τ_2	
			крупный заполнитель (-)	вода (+)	$T_{б,с}$, °C				
1	10	26	16	75	24	400	7	180	20
2	12	12	12	68	18	500	14	180	19
3	6	10	10	68	22	600	14	90	18
4	11	14	14	70	25	400	14	290	21
5	11	11	11	70	19	400	21	90	17
6	4	9	9	70	20	500	14	90	19
7	13	13	13	75	20	300	21	90	20
8	8	8	8	60	20	600	7	90	19
9	7	15	15	81	23	400	7	45	16
10	13	13	13	65	18	600	7	90	20
11	15	15	15	75	22	600	7	90	18
12	16	10	15	75	20	600	7	90	20
13	5	10	10	60	20	600	14	180	21
14	5	10	10	72	30	400	7	90	19,5
15	10	10	10	60	21	400	21	90	18
16	5	16	16	70	20	400	14	90	16
17	15	15	15	75	24	600	7	145	20,5
18	10	10	15	70	25	400	7	90	21
19	13	19	19	75	22	600	14	90	19
20	18	25	25	80	28	400	7	90	17
21	20	17	17	85	26	600	14	45	12
22	20	27	27	85	26	600	7	90	22
23	10	10	15	85	20	600	14	45	17
24	4	10	10	75	30	400	14	90	20
25	4	10	10	60	30	400	21	90	17
26	2	2	10	70	19	500	21	200	21
27	4	10	10	80	30	500	14	90	17
28	5	15	15	85	25	600	7	360	18
29	12	14	14	60	18	600	14	90	12
30	14	14	14	75	18	600	14	300	22
31	7	13	13	82	22	400	21	45	17,5
32	0	2	3	45	16	600	21	60	18
33	-	11	-	68	22	500	14	90	15
34	14	14	14	75	18	600	7	300	22
35	5	10	10	80	20	600	14	300	18
36	2	2	10	70	28	500	21	200	21
37	10	12	12	70	26	600	14	90	18
38	13	16	16	85	20	600	7	180	24
39	4	16	16	78	28	500	21	320	23,5
40	12	12	12	68	18	400	14	90	22

2. ЛЁГКИЕ БЕТОНЫ

2.1. БЕТОН НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Лёгкому бетону и железобетону принадлежит важная роль в решении технической задачи по дальнейшему снижению массы возводимых зданий и уменьшению материалоемкости строительства. Вместе с тем, наружные стены и покрытия из малотеплопроводных лёгких бетонов сберегают тепло в помещениях и тем самым позволяют меньше тратить топлива и энергии на отопление зданий. Из лёгкого железобетона изготавливают укрупнённые конструкции и объёмные элементы, применение которых в полносборном строительстве ускоряет монтажные работы и сводит к минимуму потребность в ручном труде.

Есть ещё одно очень важное достоинство у лёгкого бетона, а именно – возможность его использования в разнообразных строительных конструкциях, что позволяет рассматривать лёгкий бетон как универсальный материал. В этом убеждает разнообразие видов лёгкого бетона, применяемых в строительстве:

- конструкционный плотностью 1400 ... 1800 кг/м³ с прочностью на сжатие 15 ... 50 МПа, чаще всего используемый для легких несущих железобетонных конструкций (пролётных строений мостов, ферм, гидротехнических сооружений, элементов перекрытий и покрытий зданий и др.);

- конструкционно-теплоизоляционный плотностью 501 ... 1400 кг/м³ с прочностью 2,5 ... 10 МПа, являющийся основным материалом ограждающих конструкций зданий;

- теплоизоляционный и акустический плотностью до 500 кг/м³, широко применяемый в слоистых конструкциях как утеплитель и звукопоглощающий материал.

2.1.1. Материалы для изготовления лёгкого бетона

Для лёгкого бетона используют быстротвердеющий и обычный портландцементы, а также шлакопортландцемент. Применяют в основном неорганические пористые заполнители. Для теплоизоляционных и некоторых видов конструкционно-теплоизоляционных лёгких бетонов используют и органические заполнители из древесины, стеблей хлопчатника, костры, гранулы пенополистирола (стиропорбетон) и др.

Неорганические пористые заполнители отличаются большим разнообразием, их подразделяют на природные и искусственные. *Природные пористые заполнители* получают путём частичного дробления и отсева или только отсева горных пород (пемзы, вулканического туфа, известняка-ракушечника и др.). *Искусственные пористые заполнители* являются продуктами термической обработки минерального сырья и разделяются на специально изготовленные и побочные продукты промышленности (топливные шлаки и золы).

2.1.2. Технические требования к пористым заполнителям

Пористые заполнители, как и плотные, делят на крупные (пористый гравий или щебень) с размером зерен 5 ... 40 мм и мелкие (пористый песок), состоящие из частиц менее 5 мм. Пористый песок отсеивают на две фракции: до 1,2 мм (мелкий песок) и 1,2 ... 5 мм (крупный песок). Пористый щебень (гравий) следует разделять на фракции: 5 ... 10, 10 ... 20, 20 ... 40 мм.

По насыпной плотности в сухом состоянии (кг/м^3) пористые заполнители разделяют на марки: 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 и 1200.

Наивыгоднейшее сочетание показателей плотности, теплопроводности, прочности и расхода цемента для лёгких бетонов достигается при наибольшем насыщении бетона пористым заполнителем, что требует слитного (сближенного) размещения зёрен заполнителя в объёме бетона. В этом случае в бетоне будет содержаться меньше цементного камня, являющегося самой тяжёлой частью лёгкого бетона. Наибольшее насыщение бетона пористым заполнителем возможно только при правильном подборе зернового состава смеси мелкого и крупного пористых заполнителей с одновременным использованием технологических факторов (интенсивного уплотнения, пластификаторов).

Объём межзерновых пустот в крупном заполнителе зависит от содержания зёрен разного размера. Оптимальный зерновой состав соответствует минимальной пустотности смеси зёрен в данном примере фракций 5 ... 10 и 10 ... 20 мм (рис. 2.1). Результаты опытов послужили основанием для рекомендаций по рациональному зерновому составу, которые содержатся в стандартах на каждый вид пористого заполнителя.

Требования к зерновому составу пористого песка установлены в зависимости от того, для какого вида бетона он готовится: теплоизоляционного, конструкционно-теплоизоляционного, конструкционного.

Содержание водорастворимых сернистых и сернокислых соединений в пересчёте на SO_3 в пористом песке, применяемом для армированных лёгких бетонов, допускается не более 1% по массе.

Среднее значение коэффициента формы зёрен гравия или щебня (отношение наибольшего размера зерна к наименьшему) для высококачественного заполнителя 1,5 ... 2 и не более 2,5. Зерна вытянутой («лещадной») формы увеличивают пустотность заполнителя, ухудшают удобоукладываемость смесей и понижают прочность лёгкого бетона.

Прочность пористого щебня (гравия) определяют по стандартной методике путём раздавливания зёрен в стальном цилиндре.

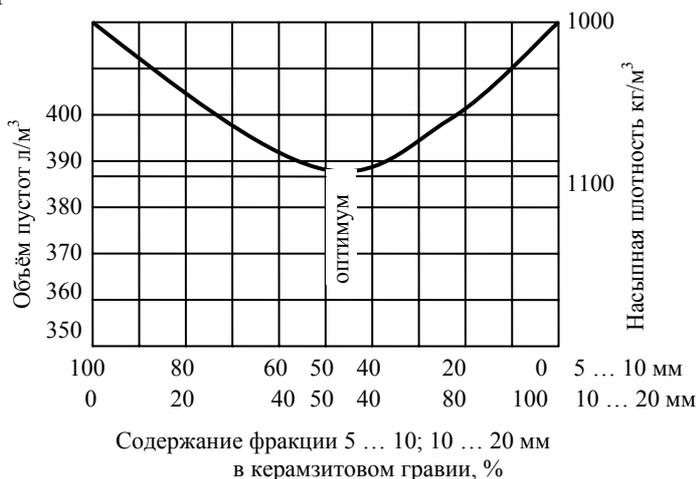


Рис. 2.1. Межзерновая пустотность и насыпная плотность керамзитового гравия в зависимости от его зернового состава

Зёрна большинства пористых заполнителей имеют шероховатую по-верхность, поглощают некоторое количество воды затворения, поэтому лёгкобетонные смеси нуждаются в принудительном смешивании и в интен-сивном уплотнении (вибрировании под нагрузкой, вибропрокате, вибро-трамбовании и др.), которое более эффективно при применении пластифицирующих добавок.

Основы теории лёгких бетонов, включающие общий метод опреде-ления оптимального количества воды затворения для легкобетонной сме-си, разработал Н.А. Попов. Этот метод основан на зависимости прочности лёгкого бетона и коэффициента выхода от расхода воды (рис. 2.2).

Коэффициент выхода β вычисляют по формуле

$$\beta = \frac{V_6}{V_{\text{ц}} + V_{\text{м}} + V_{\text{к}}},$$

где V_6 , $V_{\text{ц}}$, $V_{\text{м}}$, $V_{\text{к}}$ – объёмы соответственно уплотнённой бетонной смеси, цемента, мелкого и крупного заполнителей; β – всегда меньше единицы (0,6 ... 0,8).

Кривая зависимости прочности от расхода воды имеет две ветви. Левая (восходящая) показывает, что прочность бетона при повышении расхода воды постепенно возрастает. Это объясняется увеличением удобоукладываемости бетонной смеси и плотности бетона.

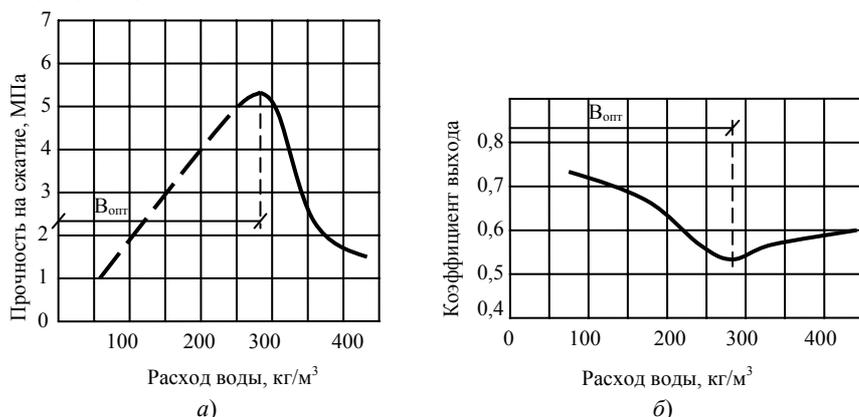


Рис. 2.2. Зависимость прочности лёгкого бетона: *а* – и коэффициента выхода; *б* – от расхода воды затворения ($V_{\text{опт}}$ – оптимальное количество воды)

Правая (нисходящая) ветвь свидетельствует о том, что после достижения наибольшего уплотнения смеси (т.е. минимального коэффициента выхода) увеличение расхода воды сверх оптимального приводит к возрастанию объёма пор, образованных несвязанной цементной водой, и к понижению прочности бетона.

В лёгком бетоне отчётливо проявляется вредное влияние как недостатка, так и избытка воды затворения.

Прочность лёгкого бетона R , по Н.А. Попову, зависит от марки цемента, цементно-водного отношения, прочности пористого заполнителя и может быть приближённо определена по формуле, имеющей в определённых границах Ц/В такой же вид, как и для тяжёлых бетонов:

$$R = A_2 R_{\text{ц}} \left(\frac{\text{Ц}}{\text{В}} - b_2 \right),$$

где A_2 и b_2 – безразмерные параметры.

Чем ниже прочность пористого заполнителя, тем меньше значения A_2 и b_2 .

При оптимальном количестве воды затворения, подобранном для применяемых цемента и заполнителей, прочность лёгкого бетона зависит, главным образом, от марки и расхода цемента Ц (формула Н.А. Попова):

$$R = k R_{\text{ц}} (\text{Ц} - \text{Ц}_0),$$

где k и Ц_0 – параметры, определяемые путём испытания образцов бетона, изготовленных с оптимальным количеством воды, но с разными расходами цемента и твердевших в тех же условиях, что и лёгкобетонные изделия.

2.1.3. Структура и свойства лёгкого бетона

Структура лёгкого бетона формируется при участии физических и химических процессов, протекающих в местах контакта пористого зерна заполнителя с цементным тестом и камнем. Цементное тесто проникает в поверхностные поры зерна, при этом зерно отсасывает некоторое количество воды из прилегающего к нему слоя цементного теста, понижая В/Ц, поэтому в бетоне плотной структуры каждое пористое зерно окружено контактным слоем. Сцепление вяжущего с пористым заполнителем, обусловленное механическим защемлением цементного камня в порах зерна, возрастает вследствие химического взаимодействия контактирующих фаз.

Большинство пористых заполнителей (керамзит, аглопорит и др.) содержит аморфный SiO_2 , способный химически реагировать с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образующимся при гидратации цемента, что приводит к образованию на поверхности контакта нерастворимого в воде гидросиликата кальция $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ упрочняющего контактный слой «пористое зерно – цементный камень». Вот почему бетон на пористом заполнителе (в котором 75 ... 80% объёма заполнено пористыми зёрнами) не пропускает воду и другие жидкости даже при большом одностороннем давлении, этот же бетон оказывается достаточно морозостойким. Данный технический парадокс имеет место, если обеспечена плотная структура бетона, т.е. цементное тесто заполняет все пустоты между зёрнами и межзерновая пористость бетона минимальна. В плотном лёгком бетоне к тому же стальная арматура достаточно хорошо защищена от коррозии и в обычных условиях эксплуатации не требуется специальных защитных мер по сохранению арматуры.

Лёгкие бетоны разделяют по структуре на плотные, поризованные и крупнопористые.

Основным показателем прочности лёгкого бетона является класс бетона по прочности при сжатии; установлены следующие классы, МПа: В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В17,5; В20; В22,5; В25; В30; В40; для теплоизоляционных бетонов предусмотрены кроме того классы: В0,35; В0,75; В1.

Для изделий и конструкций, запроектированных без учёта требований стандарта СЭВ 1406–78, показатели прочности легкогобетона на сжатие характеризуют марками, кг/см²: М35; М50; М75; М100, М150; М200; М250; М300; М350; М400; М450; М500. Для теплоизоляционных бетонов предусмотрены марки: М5; М10; М15; М25.

Для изготовления высокопрочных бетонов (плотностью 1600 ... 1800 кг/м³) применяют более прочный пористый заполнитель с насыпной плотностью 600 ... 800 кг/м³, а пористый песок частично или полностью заменяют плотным. Наряду с прочностью важной характеристикой лёгкого бетона является плотность. В зависимости от плотности в сухом состоянии (кг/м³) лёгкие бетоны подразделяют на марки: D200; D300; D400; D500; D600; D700; D800; D900; D1000; D1100; D1200; D1300; D1400; D1500; D1600; D1700; D1800; D1900; D2000. Уменьшить плотность лёгких бетонов можно путём образования в цементном камне мелких замкнутых пор. Для поризации цементного камня, являющегося самой тяжёлой составной частью лёгкого бетона, используют небольшие количества пенообразующих или газообразующих веществ. Мелкие и равномерно распределённые поры в цементном камне незначительно понижают прочность, но существенно уменьшают плотность и теплопроводность лёгкого бетона.

Теплопроводность лёгких бетонов зависит в основном от плотности и влажности (рис. 2.3). Увеличение объемной влажности лёгкого бетона на 1% повышает его теплопроводность на 0,016 ... 0,035 Вт/(м·°С).

В зависимости от теплопроводности лёгкого бетона толщина наружной стены может изменяться от 20 до 40 см.

Наружные ограждающие конструкции из лёгких бетонов подвергаются воздействию попеременного замораживания и оттаивания, увлажнения и высыхания, поэтому лёгкие бетоны, применяемые для наружных стен, покрытий зданий, а также для конструкций мостов, гидротехнических сооружений, должны обладать определённой морозостойкостью.

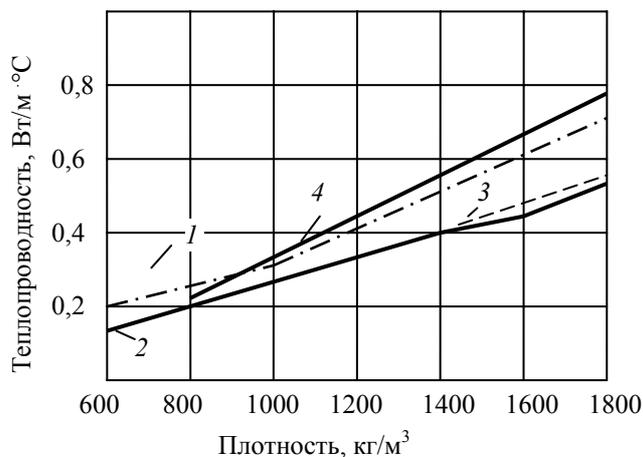


Рис. 2.3. Зависимость теплопроводности лёгких бетонов от плотности:

1 — керамзитобетон; 2 — перлитобетон;
3 — шлакопемзобетон; 4 — аглопоритобетон

По морозостойкости лёгкие бетоны делят на марки: F25; F35; F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500. Для наружных стен обычно применяют бетоны морозостойкостью не менее 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Возможность получения лёгких бетонов высокой морозостойкостью и малой водопроницаемостью значительно расширяет области их применения. Бетоны на пористых заполнителях уже успешно используют в мостостроении, гидротехническом строительстве и даже в судостроении.

Водонепроницаемость плотных конструктивных лёгких бетонов может быть высокой. Керамзитобетон с расходом цемента 300 ... 350 кг/м³ не пропускает воду даже при давлении 2 МПа. Малая водопроницаемость плотных лёгких бетонов подтверждается эксплуатацией возведённых из них гидротехнических сооружений, а также испытанием напорных железобетонных труб. Характерно, что со временем водонепроницаемость лёгких бетонов повышается.

Установлены следующие марки бетона на пористом заполнителе по водонепроницаемости: W0,2; W0,4; W0,6; W0,8; W1; W1,2 (в МПа гидростатического давления).

2.2. КРУПНОПОРИСТЫЙ БЕТОН

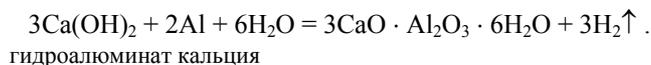
В состав крупнопористого (беспесчаного) бетона входят гравий или щебень крупностью 520 мм, портландцемент или шлакопортландцемент марок 300 – 400 и вода. За счёт исключения песка из состава крупнопористого бетона его плотность уменьшается примерно на 600 ... 700 кг/м³ и составляет 1700 ... 1900 кг/м³. Отсутствие песка и ограниченный расход цемента (70 ... 150 кг/м³) позволяют получить пористый бетон теплопроводностью 0,55 ... 0,8 Вт/(м·°С) марок М15 – М75. Крупнопористый бетон целесообразно применять в районах, богатых гравием. Из крупнопористого бетона возводят монолитные наружные стены зданий, изготовляют крупные стеновые блоки. Стены из крупнопористого бетона оштукатуривают с двух сторон, чтобы устранить продувание.

Крупнопористый бетон на пористом заполнителе (керамзитовом гравии и т.п.) имеет небольшую плотность (500 ... 700 кг/м³) и используется как теплоизоляционный материал.

2.3. ГАЗОБЕТОН

В качестве газообразователя вводится тонкоизмельченный алюминиевый порошок (алюминиевая пудра ПАК-3).

Способ газообразования основан на введении в сырьевую смесь компонентов, которые способны вызвать химические реакции с выделением в больших количествах газовой фазы. Газы, стремясь выйти из твердеющей пластической массы, образуют пористую структуру материала – газобетона, газосиликата, газокерамики, ячеистого стекла, газонаполнителей пластмассы и др. Вступая в химическую реакцию с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, алюминий способствует выделению молекул водорода и соответствующей энергии химической связи образования из простых веществ



Выделяющийся водород вспучивает цементное тесто. Ячеистое цементное тесто затвердевает. Крупный наполнитель в нем отсутствует. Для ускорения процесса вспучивания к портландцементу добавляют примерно 10 % извести-пушонки от его массы. Процесс газообразования продолжается примерно 15 ... 20 мин.

Другой газообразователь – пергидроль (техническая перекись водорода). В щелочной среде цементного теста или цементного раствора пергидроль разлагается с выделением кислорода



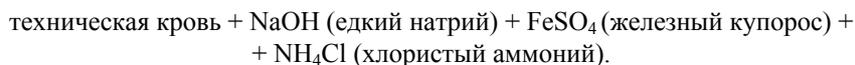
Молекулы кислорода вспучивают цементное тесто или строительный раствор в течение 7 ... 10 мин.

2.4. ПЕНОБЕТОН

Способ пенообразования основан на введении в воду затворения вяжущих пенообразующих веществ. Стабилизированные пузырьки пены представляют собой воздушные поры пенобетона, пеносиликата, пенокерамики и др.

В качестве стабилизаторов пены с повышением их стойкости используют столярный клей, сернокислый глинозем, смолы и др.

Пенообразователи – соли жирных кислот – натриевые и калиевые мыла, клееканифольный пенообразователь, алюмосульфонафтенный пенообразователь, ГК – гидролизованная кровь, получаемая путём обработки отходов мясокомбинатов по схеме:



Изделия из ячеистых бетонов имеют марки 350, 400 по плотности ($R_{\text{сж}} = 0,7 \dots 1 \text{ МПа}$; $R_{\text{изг}} = 0,2 \dots 0,3 \text{ МПа}$); $\lambda = 0,09 \dots 0,1 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$; $t_{\text{пред}} = 400^\circ\text{C}$.

2.5. КЕРАМЗИТОБЕТОН

Расчёт состава керамзитобетона

Определение расхода материалов на 1 м^3 керамзитобетона

1. *Общий расход крупного и мелкого заполнителя:*

$$Z = m_V^6 - 1,15Ц ,$$

где m_V^6 – требуемая объёмная масса сухого керамзитобетона, кг/м^3 ; 1,15 – коэффициент, учитывающий воду, связанную с цементом (15%); Ц – расход цемента, кг/м^3 , который определяют по табл. 2.1 и уточняют по табл. 2.2 и 2.3.

2.1. Расход цемента для керамзитобетона различных марок

Крупный заполнитель	Предельная крупность заполнителя, мм	Расход цемента, кг/м ³ , для керамзитобетона марки					
		50	75	100	150	200	250
Керамзитовый гравий	10	–	–	$\frac{200-240}{230-260}$	$\frac{250-280}{270-300}$	$\frac{300-330}{310-350}$	$\frac{340-390}{-}$
	20	$\frac{170-190}{180-200}$	$\frac{200-220}{210-230}$	$\frac{235-260}{240-270}$	$\frac{275-310}{290-320}$	$\frac{320-330}{340-380}$	$\frac{370-420}{-}$
	30	$\frac{190-210}{200-230}$	$\frac{220-235}{240-260}$	$\frac{240-290}{280-320}$	$\frac{300-340}{350-390}$	$\frac{360-400}{-}$	–
Керамзитовый щебень	10	–	–	$\frac{200-250}{230-280}$	$\frac{270-300}{290-330}$	$\frac{320-350}{340-410}$	$\frac{360-400}{-}$
	20	$\frac{180-200}{190-210}$	$\frac{210-230}{220-240}$	$\frac{240-285}{260-290}$	$\frac{295-340}{320-350}$	$\frac{350-400}{370-430}$	$\frac{410-430}{-}$
	40	$\frac{200-220}{210-240}$	$\frac{230-260}{250-280}$	$\frac{270-310}{300-340}$	$\frac{330-360}{370-410}$		–

Примечание. Над чертой – расход цемента для жестких бетонных смесей с показателем жёсткости 60 ... 80 с, под чертой – для подвижных смесей с осадкой конуса 3 ... 5 см.

2.2. Поправочные коэффициенты к расходу цемента в зависимости от насыпной массы заполнителя

Насыпная масса заполнителя, кг/м ³	Поправочный коэффициент	Наибольшая марка бетона на данном крупном заполнителе при его расходе 0,8 м ³ на 1 м ³ бетона	Насыпная масса заполнителя, кг/м ³	Поправочный коэффициент	Наибольшая марка бетона на данном крупном заполнителе при его расходе 0,8 м ³ на 1 м ³ бетона
250	1,3	100	500	1	250
300	1,2	150	600	0,95	300
400	1,1	200	800	0,5	400

2.3. Поправочные коэффициенты к расходу цемента в зависимости от его марки

Марка цемента	Поправочный коэффициент	Марка цемента	Поправочный коэффициент
250	1,3	500	0,9
300	1,2	600	0,8
400	1,1	–	–

2. Расход песка:

$$\Pi = \frac{3m_n^{\text{п}}r}{rm_n^{\text{п}} - (1-r)m_n^{\text{щ}}},$$

где $m_n^{\text{п}}$, $m_n^{\text{щ}}$ – объёмные массы песка и крупного заполнителя (щебня или гравия) в насыщенном состоянии, кг/м³; r – доля песка в общем объёме смеси мелкого и крупного заполнителя, принимаемая по табл. 2.2.

3. Расход щебня или гравия:

$$\text{Щ} = 3 - \Pi.$$

Расход крупного заполнителя не должен превышать 0,9 м³ на 1 м³ бетона.

4. Расход воды определяют по табл. 2.4.

Предварительный состав керамзитобетона уточняют пробными замесами, как и при подборе состава обычного бетона.

2.4. Водопотребность керамзитобетонной смеси, л/м³

Осадка конуса, см	Жёсткость, с	Керамзитобетон					
		на кварцевом песке			на керамзитовом песке		
		при объёмной (насыпной) массе керамзитового гравия, кг/м ³					
		300	500	800	300	500	800
–	90-100	175-190	165-180	155-170	210-225	200-215	190-205
–	60-80	185-200	175-190	165-180	225-240	215-235	205-225
–	30-50	195-210	185-200	175-190	250-270	240-260	230-250
–	15-25	205-220	195-210	185-200	275-300	265-290	255-280
3-5	–	215-230	205-220	195-210	300-325	290-315	270-305
6-8	–	225-240	215-230	205-220	325-350	315-340	305-330
9-12	–	235-250	225-240	215-232	350-375	340-365	330-355

Примечания: 1. Данные таблицы приведены для керамзитобетона на сухом керамзитовом гравии с предельной крупностью зёрен 20 мм и на песке средней крупности. При предельной крупности зёрен керамзитового гравия 10 мм расход воды увеличивают на 20 л, а при предельной крупности зёрен 40 мм уменьшают на 15 л.

2. Данные таблицы относятся к керамзитобетону, содержащему 35 ... 40% песка от общего объёма смеси заполнителей. При меньшем или большем содержании песка расход воды соответственно уменьшают или увеличивают на 1 ... 1,5 л на каждый процент изменения содержания песка.

3. В случае применения пуццолановых или шлакопортландцементов, а также тонкомолотых добавок к портландцементу расход воды увеличивают на 15 ... 20 л.

4. Данные таблицы приведены для керамзитового гравия. При наличии керамзитового щебня расход воды увеличивают на 15 ... 20 л.

Рекомендации по выбору заполнителей для керамзитобетона даны в табл. 2.5.

Подвижность или жёсткость керамзитобетонных смесей для конструкций различных типов представленных в табл. 2.6.

2.5. Рекомендации по выбору заполнителей для керамзитобетона

Керамзитобетон и его марка	Максимальная объёмная масса керамзитобетона в высушенном состоянии, кг/м ³	Примерный расход цемента, кг/м ³	Рекомендуемая насыпная масса, кг/м ³		расход сортированного мелкого и крупного заполнителя, м ³ , на 1 м ³ уложенного		Пределная крупность керамзитового гравия или щебня, мм	Доля песка в общем объёме смеси мелкого и крупного заполнителя при использовании	
			керамзитового гравия или щебня	керамзитового песка (из гравия или щебня)	отдельно мелкого и отдельно крупного заполнителя	мелкого заполнителя и двух фракций		гравия	щебня
Конструктивно-теплоизоляционный, марок 50-100	1400	175 ... 250	300	600	1,45	1,55	10 20 40	0,5 ... 0,6	0,55 ...
			400	800				0,4 ... 0,5	0,65
			500	1000				0,35 ... 0,45	0,45 ... 0,55
Конструктивный, марки 100 и более	1800	250 ... 400	400	600	1,4	1,5	10 20 —	0,55 ...	0,6 ... 0,7
			500	800				0,65	0,55 ...
			600	1000				0,5 ... 0,6	0,65
			800	1200				—	—
			—	—				—	—

Примечание. В качестве мелкого заполнителя для конструктивного керамзитобетона можно применять кварцевый песок, для конструктивно-теплоизоляционного – доменный гранулированный шлак или золу, если при этом объёмная масса бетона не превысит заданную.

2.6. Подвижность или жёсткость керамзитобетонных смесей для конструкций различных типов

Конструкции	Средство укладки	Осадка конуса, см	Жёсткость, с
Тонкостенные железобетонные изделия (плоские и часторёбристые панели, настилы, тонкие плиты ограждений и покрытий), бетонлируемые в вертикальном положении в кассетных формах.	Наружные тисковые вибраторы. Глубинные вибраторы.	10 ... 12	—
		6 ... 8	—
Крупные блоки (стенные, фундаментные, санитарно-технические), бетонлируемые на стенде в горизонтальном или вертикальном положении, а также	Поверхностные, глубинные или наружные вибраторы, а также пневмотрамбовки или вибробетонукладчики	3 ... 5	—

железобетонные массивные изделия (балки, прогоны, лестничные марши и т. д.), изготавливаемые по стендовой технологии. Крупные блоки, бетонируемые в горизонтальном положении, а также железобетонные массивные изделия, изготавливаемые по поточной технологии	Виброплощадки с пригрузом и вибровкладышами	15 ... 25 30 ... 50
	Виброплощадки с пригрузом и вибровкладышами, виброштампы	60 ... 80 80 ... 100
Тонкостенные железобетонные изделия, бетонируемые в горизонтальном положении		

2.6. ЗАДАЧИ

Задача 1. Определить коэффициент конструктивного качества (К.К.К.) керамзитобетона марок 100 и 400 (объёмная масса соответственно 1000 и 1800 кг/м³). Сравнить полученные данные с величинами К.К.К. обычных (тяжёлых) бетонов соответствующих марок при $m_v = 2400$ кг/м³.

Решение. 1. Для керамзитобетона марки 100

$$\text{К.К.К.} = \frac{R}{m_v} = \frac{100}{1000} = 0,1,$$

а для тяжёлого бетона

$$\text{К.К.К.} = \frac{100}{2400} = 0,042,$$

т.е. К.К.К. керамзитобетона по сравнению с равнопрочным тяжёлым бетоном выше приблизительно в 2,5 раза $\left(\frac{0,1}{0,04}\right)$.

2. Для высокопрочного керамзитобетона марки 400

$$\text{К.К.К.} = \frac{400}{1800} = 0,222,$$

а для тяжёлого бетона

$$\text{К.К.К.} = \frac{400}{2400} = 0,167,$$

т.е. К.К.К. высокопрочного керамзитобетона на 33% выше по сравнению с тяжёлым бетоном $\frac{0,22}{0,167} \cdot 100 = 133\%$.

Задача 2. Шлакопемзобетон слитного строения марки 50 на обычной (тяжёлой) шлаковой пемзе ($m_n \geq 800$ кг/м³) имеет объёмную массу, как правило, не меньше $m_v = 1600$ кг/м³. Для повышения эффективности такого бетона и уменьшения толщины стеновых панелей из него в качестве мелкого заполнителя можно использовать легкий перлитовый песок ($m_n = 150$ кг/м³) и получить новый вид легкого бетона – шлакопемзоперлитобетон (термозитоперлитобетон) объёмной массой 1250 кг/м³. Подсчитать коэффициент конструктивного качества шлакопемзобетона и шлакопемзоперлитобетона и сравнить их.

Решение. Для шлакопемзобетона $\text{К.К.К.} = \frac{50}{1600} = 0,031$.

Для шлакопемзоперлитобетона $\text{К.К.К.} = \frac{50}{1250} = 0,04$.

Следовательно, К.К.К. возрос на $\frac{0,04 - 0,031}{0,031} \cdot 100 = 29\%$, т.е. применение перлитового песка позволяет повысить К.К.К. бетона почти на 30%.

Задача 3. Подсчитать объёмную массу шлакобетона в сухом состоянии, если при естественной влажности $W = 8\%$ она составляет 1730 кг/м^3 .

$$\text{Решение. } m_V^c = \frac{100m_V^W}{100 + W} = \frac{1730 \cdot 100}{100 + 8} = 1602 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 4. Подсчитать коэффициенты теплопроводности крупнозернистых бетонов, объёмная масса которых 800, 1000, 1400 и 1800 кг/м^3 , по приближенной формуле

$$\lambda = 0,265 \cdot 10^{-3} m_V - 0,023,$$

где λ – коэффициент теплопроводности бетона, $\text{Вт/ (м} \cdot ^\circ\text{C)}$; m_V – объёмная масса бетона, кг/м^3 .

По результатам подсчёта составить таблицу.

Решение. При $m_V = 800 \text{ кг/м}^3$

$$\lambda = 0,265 \cdot 10^{-3} \cdot 800 - 0,023 = 0,189.$$

Остальные результаты сведены в таблицу:

№ бетона	m_V , кг/м^3	λ , $\text{Вт/ (м} \cdot ^\circ\text{C)}$
1	800	0,189
2	1000	0,242
3	1400	0,348
4	1800	0,454

Задача 5. Определить коэффициент выхода β крупнопористого (беспесчаного) бетона состава 1 : 6 и 1 : 12 (по объёму) при расходе цемента соответственно 200 и 100 кг на 1 м^3 бетона. Насыпная масса цемента 1200 кг/м^3 .

$$\text{Решение. } \beta = \frac{V_6}{V_{ц} + V_{ш}} = \frac{V_6}{V_{ц}(1 + n)}.$$

1. При составе 1 : 6

$$\beta = \frac{1000}{\frac{200}{1,2}(1 + 6)} = 0,86.$$

2. При составе 1 : 12

$$\beta = \frac{1000}{\frac{100}{1,2}(1 + 12)} = 0,92.$$

Задача 6. Подсчитать показатель раскраиваемости шлакобетонной смеси ($\Pi_{\text{рассл}}$), если исходная (средняя) объёмная масса смеси $m_V = 1660 \text{ кг/м}^3$, а объёмная масса пробы смеси из верхней части образцов $m_V^B = 1590 \text{ кг/м}^3$.

$$\text{Решение. } \Pi_{\text{рассл}} = 2 \frac{m_V - m_V^B}{m_V} \cdot 100 = 2 \frac{1660 - 1590}{1660} \cdot 100 = 8,4\%.$$

Задача 7. Объёмная масса автоклавного пенобетона $m_V = 700 \text{ кг/м}^3$ (в сухом состоянии). Соотношение цемента и молотого песка 1:1. Химически связанной воды пенобетон содержит $V_{с.в} = 15\%$ от общей массы цемента и молотого песка. Вычислить пористость пенобетона, если истинная плотность ρ цемента 3,1, а молотого песка 2,65 г/см^3 .

Решение. 1. Определяем расход цемента и песка на 1 м^3 пенобетона из условия $m_V = Ц + П + V_{с.в} = 700$, или $Ц + П + 0,15 \cdot (Ц + П) = 700$. Поскольку по условию задачи $Ц = П$, получаем $2,3Ц = 2,3П = 700$, откуда $Ц = П = 304 \text{ кг}$.

2. Чтобы определить пористость бетона, подсчитаем сначала абсолютный объём составляющих, дм^3 :

Цемент	$304 : 3,1 = 98$
Песка	$304 : 2,65 = 115$
Воды химически связанной	$(304 \cdot 2 \cdot 0,15) / 1 = 91$
Сумма абсолютных объёмов	304

Пористость: $1 - 0,304 = 0,696 \approx 0,7$, или 70%.

Задача 8. На 1 м^3 керамзитобетона надо цемента 210 и керамзитового заполнителя КЗ 760 кг , а воды 180 л. Плотность цемента 3,1 г/см^3 , керамзита 2,5 г/см^3 . Воды, химически связанной с цементом, в бетоне 15% по отношению к количеству цемента. Определить: а) объёмную массу бетонной смеси; б) объёмную массу затвердевшего керамзитобетона в сухом состоянии и при влажности 6%; в) пористость керамзитобетона.

Решение. 1. Объёмная масса бетонной смеси

$$m_V = 210 + 760 + 180 = 1150 \text{ кг/м}^3.$$

2. Объёмная масса керамзитобетона:

– в сухом состоянии $m_V^c = 1,15Ц + КЗ = 1,15 \cdot 210 + 760 = 1002 \text{ кг/м}^3$;

– при влажности 6% $m_V^B = 1,06 \cdot 1002 = 1062 \text{ кг/м}^3$.

3. Для определения пористости подсчитываем абсолютные объёмы составляющих, дм^3 :

Цемент	$210 : 3,1 = 68$
Керамзита	$760 : 2,5 = 304$
Воды химически связанной	$0,15 \cdot 210 : 1 = 32$
Сумма абсолютных объёмов:	404
Пористость: $1 - 0,404 = 0,596 \approx 0,6$, или 60%.	

Задача 9. Рассчитать состав конструктивного плотного керамзитобетона марки 200 (объёмная масса в сухом состоянии $m_V = 1700 \text{ кг/м}^3$) для первого пробного замеса, если подвижность бетонной смеси по осадке конуса равна 3 см.

Дано: портландцемент марки 500, кварцевый песок средней крупности (насыпная масса $m_H^k = 400 \text{ кг/м}^3$, предельная крупность зёрен 20 мм).

Решение. 1. Определяем расход цемента по табл. 2.1 с поправками на заполнитель и цемент по табл. 2.2 и 2.3:

$$Ц = Ц_0 K_1 K_2 = 340 \cdot 1,1 \cdot 0,9 = 337 \text{ кг/м}^3.$$

2. Расход воды (по табл. 2.4) $В = 210 \text{ кг/м}^3$.

3. Общий расход заполнителей $З$ (мелкого – Π и крупного – $К_p$) при заданной объёмной массе сухого керамзитобетона (1700) определяем по формуле

$$З = \Pi + К_p = m_V - 1,15Ц = 1700 - 1,15 \cdot 337 = 1312 \text{ кг/м}^3.$$

4. Доля песка по объёму по табл. 2.5 составляет $r = 0,55$ общего объёма смеси мелкого и крупного заполнителя. При использовании кварцевого песка r можно уменьшить на 10 ... 20%; примем $r = 0,49$.

5. Расход песка по формуле

$$\Pi = \frac{3m_H^п r}{rm_H^п + (1-r)m_H^к} = \frac{1312 \cdot 1500 \cdot 0,49}{0,49 \cdot 1500 + 0,51 \cdot 400} = 1027 \text{ кг/м}^3,$$

Или по объёму $V_\Pi = \frac{1027}{1500} = 0,685 \text{ м}^3$ на 1 м^3 бетона.

6. Расход керамзитового гравия

$$К_p = 1312 - 1027 = 285 \text{ кг/м}^3,$$

или по объёму

$$V_{К_p} = \frac{285}{400} = 0,7 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

7. Проверка: $V_{К_p} = 0,72 < 0,9 \text{ м}^3$,

$$V_{К_p} + V_\Pi = 0,72 + 0,685 \approx 1,4 \text{ м}^3 \text{ (табл. 2.5)}.$$

8. Окончательное соотношение компонентов бетонной смеси по массе для первого пробного замеса при $В/Ц = 210 : 337 = 0,62$ будет

$$337 : 1027 : 285 = 1 : 3,05 : 0,846.$$

Задача 10. Рассчитать состав крупнопористого бетона марки 50 для первого опытного замеса. Требуемая объёмная масса бетона в сухом состоянии – не более 1850 кг/м^3 .

Дано: портландцемент марки 400; нормальная густота цемента $m_H = 1,2 \text{ кг/дм}^3$. В качестве заполнителя используют тяжёлый гравий (насыпная масса $m_H^3 = 1,6 \text{ т/м}^3$, водопоглощение за 30 мин $W_{30} = 1,2\%$).

Решение. 1. Расход цемента определяем по формуле

$$Ц = (A - m_H^3)(100 + 2,5 R_0) K,$$

где $A = 2$ при $m_H^3 = 0,4 \dots 1,2$;

$A = 2,08$ при $m_H^3 = 1,4$;

$A = 2,2$ при $m_H^3 = 1,6$;

$K = 1$ – поправочный коэффициент при цементе марки 400, тогда

$$Ц = 1(2,2 - 1,6)(100 + 2,5 \cdot 50) = 135 \text{ кг/м}^3.$$

2. Расход заполнителя определяем по формуле

$$З = (1,5 - 0,28 m_n^3) m_n^3 \cdot 1000 = (1,5 - 0,28 \cdot 1,6) 1,6 \cdot 1000 = 1683 \text{ кг/м}^3.$$

3. Расход воды для приготовления первого опытного замеса, кг/м^3 , определяем по формуле

$$В = \frac{NЦ + 3W_{30}}{100} = \frac{25 \cdot 135 + 1683 \cdot 1,2}{100} = 54 \text{ кг/м}^3,$$

где N – нормальная густота цементного теста, $N = 25\%$. Следовательно

$$В/Ц = 54 : 135 = 0,4.$$

4. Объёмная масса бетонной смеси

$$m_V^{6.c.} = Ц + З + В = 135 + 1683 + 54 = 1838 \text{ кг/м}^3.$$

5. Объёмная масса бетона в сухом состоянии

$$m_V^{c.б.} = 1,15Ц + З,$$

где 1,15 – коэффициент, учитывающий химически связанную воду.

$$m_V^{c.б.} = 1,15 \cdot 135 + 1683 = 1838 \text{ кг/м}^3.$$

6. Состав (цемент : заполнитель) по массе при $В/Ц = 0,4$

$$1 : n = 135 : 1683 = 1 : 12,5.$$

7. Состав бетона по объёму

$$1 : n' = 1 : n \frac{m_n^u}{m_n^3} = 1 : 12,5 \frac{1,2}{1,6} = 1 : 9,4.$$

Задача 11. Рассчитать состав лёгкого крупнопористого бетона марки 35 для опытного замеса. Объёмная масса бетона в сухом состоянии – не более 1650 кг/м^3 .

Дано: портландцемент марки 300; нормальная густота цементного теста $N = 25\%$. В качестве заполнителя используют сухой известняковый щебень (насыпная масса $m_n^3 = 1,2 \text{ т/м}^3$, водопоглощение за 30 мин $W_{30} = 6\%$).

Решение. 1. Расход цемента по формуле

$$Ц = (A - m_n^3) (100 + 2,5 R_0) K,$$

где $A = 2$ при $m_n^3 = 1,2 \text{ т/м}^3$; K – поправочный коэффициент, зависящий от марки цемента и определяемый по формуле

$$K = \frac{600}{R_{ц} + 200} = \frac{600}{300 + 200} = 1,2.$$

Таким образом,

$$Ц = 1,2 (2 - 1,2) (100 + 2,5 \cdot 35) = 180 \text{ кг/м}^3.$$

2. Расход заполнителя

$$З = (1,5 - 0,28 m_n^3) m_n^3 \cdot 1000 = (1,5 - 0,28 \cdot 1,2) \cdot 1,2 \cdot 1000 = 1397 \text{ кг/м}^3.$$

3. Расход воды для приготовления бетонной смеси (с учётом водопоглощения заполнителя)

$$В = \frac{NЦ + 3W_{30}}{100} = \frac{25 \cdot 180 + 1397 \cdot 6}{100} = 129 \text{ кг/м}^3,$$

тогда $В/Ц = 129 : 180 = 0,72$.

4. Объёмная масса бетонной смеси

$$m_V^{c.б.} = 180 + 1397 + 129 = 1706 \text{ кг/м}^3.$$

5. Объёмная масса бетона в сухом состоянии

$$m_V^{c.б.} = 1,15Ц + З = 1,15 \cdot 180 + 1397 = 1604 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 12. Рассчитать состав опытного замеса крупнопористого керамзитобетона для теплоизоляции совмещённых кровельных плит. Марка бетона 15, его объёмная масса в сухом состоянии не должна превышать 650 кг/м^3 .

Дано: портландцемент марки 500; нормальная густота цементного теста $N = 25\%$; объёмная масса керамзита 400 кг/м^3 , его водопоглощение за 30 мин $W_{30} = 20\%$. Подсчитать расход материалов на 1 м^3 бетона, если фактическая объёмная масса бетонной смеси опытного замеса $m_V = 725 \text{ кг/м}^3$.

Решение. 1. Расход цемента подсчитаем по формуле

$$\text{Ц} = (A - m_n^3) (100 + 2,5R_6) K = 0,86 (2 - 0,4) (100 + 2,5 \cdot 15) = 189 \text{ кг/м}^3,$$

где $A = 2$ при $m_n^3 = 0,4 \text{ т/м}^3$;

$$K = \frac{600}{500 + 200} = 0,86.$$

2. Расход керамзита

$$\text{З} = (1,5 - 0,28 m_n^3) m_n^3 \cdot 1000 = (1,5 - 0,28 \cdot 0,4) 0,4 \cdot 1000 = 555 \text{ кг/м}^3.$$

3. Расход воды

$$B_1 = \frac{N\text{Ц} + 3W_{30}}{100} = \frac{25 \cdot 189 + 555 \cdot 20}{100} = 158 \text{ кг/м}^3,$$

тогда $B/\text{Ц} = 158 : 189 = 0,84$.

4. Расчётный состав бетона для первого опытного замеса при $B/\text{Ц} = 0,84$

$$\text{Ц} : \text{З} = 189 : 555 = 1 : 2,94.$$

5. Расчётная объёмная масса бетонной смеси, исходя из найденного расхода материалов,

$$m_{\text{V}} = 189 + 555 + 158 = 902 \text{ кг/м}^3.$$

6. Расход материалов на 1 м^3 бетона в пробном замесе, кг/м^3 , исходя из фактической объёмной массы (725 кг/м^3):

$$\text{Ц} = \frac{725}{1 + 2,94 + 0,84} = 152 ;$$

$$B = 152 \cdot 0,84 = 128;$$

$$\text{З} = 152 \cdot 2,94 = 447.$$

Объёмная масса бетона в сухом состоянии:

$$m_{\text{V}} = 1,15\text{Ц} + \text{З} = 1,15 \cdot 152 + 447 = 622 \text{ кг/м}^3 < 650 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 13. На основе опытных данных, приведённых в табл. 2.7 на графиках (рис. 2.4 – 2.6), определить состав термозитобетона марки 75 при объёмной массе 1600 кг/м^3 , активности портландцемента $R_{\text{ц}} = 385 \text{ кгс/см}^2$ и насыпной массе термозита 1250 кг/м^3 , а также установить аналитические зависимости (эмпирические формулы):

2.7. Исходные (опытные) данные

Показатели	№ состава бетона		
	1	2	3
Объёмная масса заполнителя, кг/м^3	1250	1250	1250
Расход цемента на 1 м^3 заполнителя Ц_3 , кг	200	250	325
Оптимальный расход воды на 1 м^3 заполнителя, л	180	190	205
Объёмная масса бетонной смеси, кг/м^3	1650	1700	1800
Прочность бетона при сжатии, кгс/см^2	45	65	90
Соотношение цемент : заполнитель	1:6,25	1:5	1:3,85
Водоцементное отношение	0,9	0,76	0,63
Цементоводное отношение	1,11	1,32	1,59

а) объёмной массы бетонной смеси от расхода цемента на 1 м^3 заполнителя

$$m_{\text{V}}^{\text{б.с.}} = f'(\text{Ц}_3);$$

б) прочности бетона от объёмной массы бетонной смеси

$$R_6 = \varphi(m_{\text{V}}^{\text{б.с.}});$$

в) прочности бетона от расхода цемента на 1 м^3 заполнителя

$$R_6 = f''(\text{Ц}_3);$$

г) прочности бетона от $\text{Ц}/B$, а также от $R_{\text{ц}}$ и $\text{Ц}/B$:

$$R_6 = A_0(\text{Ц}/B - B) \text{ и } R_6 = AR_{\text{ц}}(\text{Ц}/B - B).$$

Решение. А. Определение состава бетона по графикам.

1. Расход цемента на 1 м^3 заполнителя $\text{Ц}_3 = 280 \text{ кг}$, объёмная масса бетонной смеси 1740 кг/м^3 (рис. 2.4).

2. Оптимальный расход воды на 1 м^3 заполнителя по графику на рис. 2.4 (или по интерполяции) $B_3 = 196 \text{ л}$.

3. Соотношение (заполнитель : цемент)

$$3 : \text{Ц} = 1250 : 280 = 4,46.$$

Тогда состав бетона

$$\text{Ц} : 3 = 1 : 4,46.$$

Водоцементное отношение

$$\text{В/Ц} = 196/280 = 0,7; \text{Ц/В} = 1,43.$$

4. Расход материалов на 1 м³ бетона:

цемент

$$\text{Ц} = \frac{1740}{1 + 4,46 + 0,7} = 282 \text{ кг};$$

термозит

$$3 = 282 \cdot 4,46 = 1258 \text{ кг};$$

вода

$$\text{В} = 282 \cdot 0,7 = 197 \text{ л}.$$

5. Объёмная масса бетона в сухом состоянии

$$m = 1,2\text{Ц} + 3 = 1,2 \cdot 282 + 1258 = 1596 \text{ кг/м}^3 \approx 1600 \text{ кг/м}^3.$$

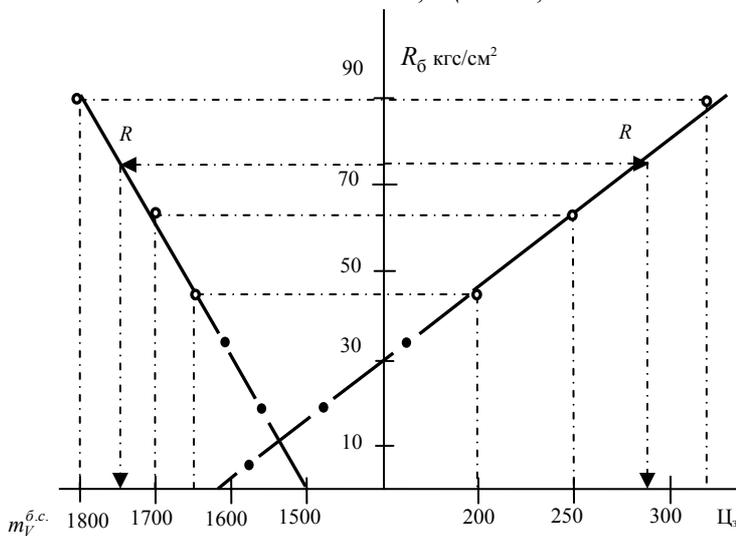


Рис. 2.4. Зависимость прочности бетона от расхода цемента на 1 м³ заполнителя Ц_z и от объёмной массы бетонной смеси $m_V^{\text{б.с.}} = 1740$

Установление аналитических зависимостей (коэффициентов в эмпирических формулах) на основе графиков.

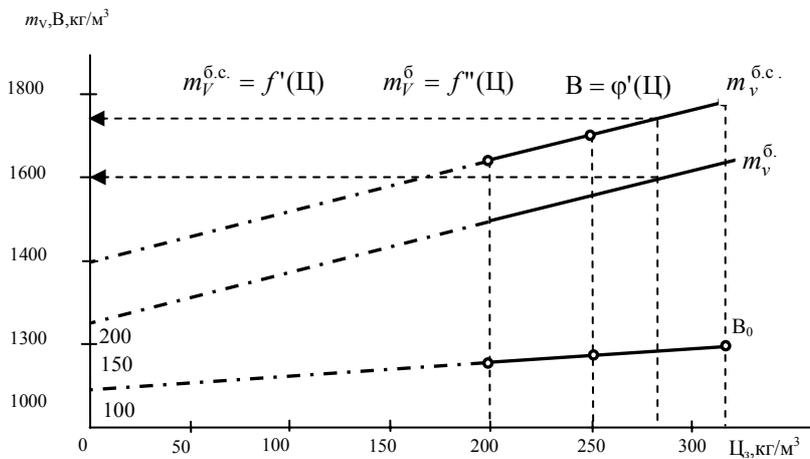


Рис. 2.5. Влияние расхода цемента Ц_z на водопотребность В_0 , объёмные массы бетона $m_V^{\text{б}}$ и бетонной смеси $m_V^{\text{б.с.}}$

1. Зависимость объёмной массы бетонной смеси от расхода цемента на 1 м³ заполнителя (рис. 2.5.)

$$m_V^{\text{б.с.}} = a\Pi_3 + n.$$

При $\Pi = 0$ $m_V^{\text{б.с.}} = n$, тогда по графику $n = 1400$. Следовательно,

$$m_V^{\text{б.с.}} = a\Pi_3 + 1400, \text{ откуда } a = \frac{m_V^{\text{б.с.}} - 1400}{\Pi_3}.$$

По таблице 2.7 или графику

$$a = \frac{1800 - 1400}{325} = 1,23.$$

Теперь можно записать:

$$m_V^{\text{б.с.}} = 1,23\Pi_3 + 1400. \quad (1)$$

2. Зависимость прочности бетона от объёмной массы бетонной смеси (рис. 2.4)

$$R_6 = \varphi(m_V^{\text{б.с.}}) = K(m_V^{\text{б.с.}} - n).$$

$R_6 = 0$ при условии $m_V^{\text{б.с.}} - n = 0$ или $m_V^{\text{б.с.}} = n = 1500$ (рис. 2.4).

Тогда $R_6 = K(m_V^{\text{б.с.}} - 1500)$,

откуда
$$K = \frac{R_6}{m_V^{\text{б.с.}} - 1500}.$$

По таблице 2.7 или рис. 2.4

$$K = \frac{90}{1800 - 1500} = 0,3,$$

следовательно,

$$R_6 = 0,3(m_V^{\text{б.с.}} - 1500). \quad (2)$$

3. Зависимость прочности бетона от расхода цемента на 1 м³ заполнителя (рис. 2.5.1).

$$R_6 = K(\Pi_3 - \Pi_0).$$

При $R_6 = 0$, $\Pi_3 = \Pi_0$, тогда по рис. 2.4 $\Pi_0 = 80$. Следовательно,

$$R_6 = K(\Pi_3 - 80), \text{ откуда } K = \frac{R_6}{\Pi_3 - 80}.$$

По таблице 2.7 или рис. 2.4 $K = \frac{90}{325 - 80} = 0,367$.

Таким образом,

$$R_6 = 0,367(\Pi_3 - 80).$$

4. Зависимость прочности бетона от Ц/В и $R_{ц}$.

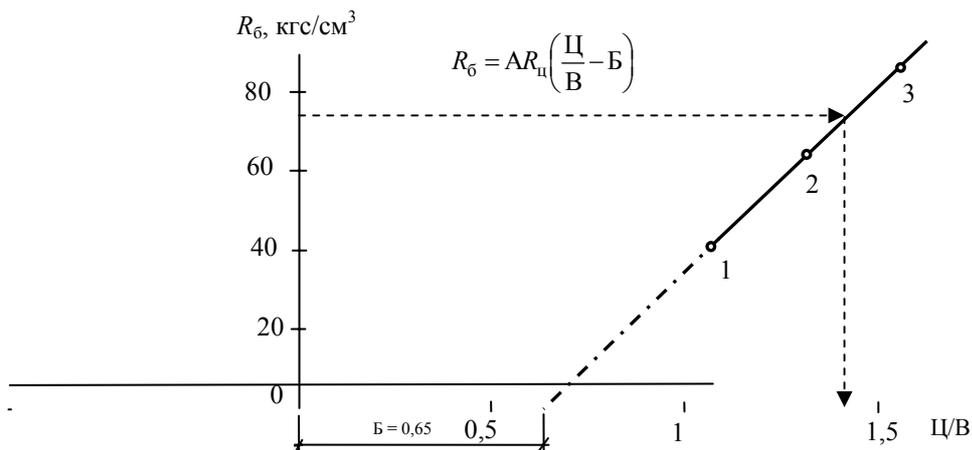


Рис. 2.6. Зависимость прочности бетона от цементно-водного отношения

По данным табл. 2.7 строим график (рис. 2.6) зависимости прочности бетона от Ц/В:

$$R_6 = A_0(\Pi/V - B) = AR_{ц}(\Pi/V - B).$$

При $R_6 = 0$ $\Pi/V = B$. По графику $B = 0,65$, тогда

$$R_6 = A_0(\Pi/V - 0,65), \text{ откуда } A_0 = \frac{R_6}{\Pi/V - 0,65}.$$

Найдя по табл. 2.7 или рис. 2.6 значения R_6 и Π/V , получим

$$A_0 = \frac{90}{1,59 - 0,65} = 96,$$

следовательно,

$$R_6 = 96(\text{Ц/В} - 0,65).$$

По условию задачи $R_{\text{ц}} = 385$, тогда

$$A = \frac{A_0}{R_{\text{ц}}} = \frac{96}{385} = 0,25.$$

Теперь можно записать:

$$R_6 = 0,25R_{\text{ц}}(\text{Ц/В} - 0,65).$$

3. СИЛИКАТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

3.1. СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ

Силикатный кирпич относится к вяжущим автоклавного твердения.

Сырьё: воздушная известь 5 ... 8% (считая на активную CaO);

кварцевый песок 92 ... 95%;

вода \approx 7%.

3.1.1. Требования к извести

Известь применяют молотой негашеной, частично загашенной или гашеной гидратной. Она должна быстро гаситься (не более 20 мин) и содержать не менее 5% MgO. Известь не должна содержать пережога, так как он замедляет скорость её гашения.

Кварцевый песок применяют немолотый или в виде смеси немолотого и тонкомолотого, а также грубомолотого с содержанием кремнезёма не менее 70%.

Примеси в песке отрицательно влияют на качество изделий:

- слюда понижает прочность (допустимо не более 0,5%);
- органические примеси вызывают вспучивание и понижают прочность (допустимо не более 1%).

Содержание в песке сернистых примесей допускается 1 % в пересчёте на SO₃. Равномерно распределённые глинистые примеси допускаются в количестве не более 10%, при таком содержании они даже несколько повышают удобоукладываемость смеси. Крупные включения глины в песке не допускаются, так как они снижают качество изделий.

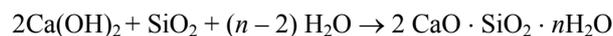
3.1.2. Физико-химические процессы твердения силикатного кирпича

Под действием высокой температуры и влажности происходит химическая реакция между известью и кремнезёмом песка. Образующиеся в результате реакции гидросиликаты срастаются с зёрнами песка в прочный камень.

Твердение основано на техническом синтезе гидросиликатов кальция, происходящего в среде насыщенного водяного пара при температуре 174,5 ... 200°C в промышленных автоклавах и соответствующем давлении пара 0,9 ... 1,3 МПа. Эти условия способствуют растворимости дисперсных фракций кварца и ускорению взаимодействия их в растворе с известью.

1. Как известно, растворимость извести с повышением температуры воды падает, в то время как растворимость кремнезёма в этих условиях заметно повышается. Установлено, что по растворимости при 170 ... 180°C кварц по своим качествам не уступает извести, а при 200°C даже существенно превосходит её. Вначале при исходной концентрации извести в растворе образуется высокоосновный гидросиликат кальция

Повышенная концентрация извести в растворе $\text{CaO} > \text{SiO}_2$



гидросиликат кальция (гиллебрандит)

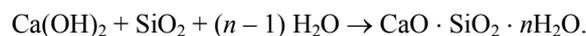
повышенной основности

Наличие C₂SH способствует увеличению морозостойкости.

Стабильность 2CaO (SiO₂ (H₂O уменьшается при изменении концентрации извести в исходном (маточном) растворе.

2. В связи с уменьшающейся (после выпадения из раствора 2CaO (SiO₂ (H₂O) концентрацией извести при увеличении содержания в растворе кремнекислоты наступает разложение высокоосновного гидросиликата (2CaO (SiO₂ (H₂O) и образование менее основных гидросиликатов (CaO (SiO₂ (H₂O). Возможно образование CaO (SiO₂ (H₂O непосредственно путём взаимодействия извести с кремнезёмом.

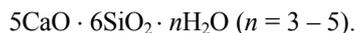
Пониженная концентрация извести в растворе $\text{CaO} < \text{SiO}_2$



гидросиликат кальция
иженной основности

CSH из-за слоистой кристаллической структуры вызывает заметные усадочные явления при высыхании цементного камня.

3. По мере увеличения продолжительности автоклавной обработки образуется группа гидросиликатов-тоберморитов, которые обуславливают высокую прочность автоклавных материалов.



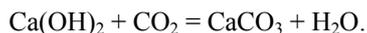
тоберморит

При высоком содержании тоберморитов в цементном камне прочность и морозостойкость силикатных изделий снижается. Следовательно, время автоклавной обработки строго лимитировано.

4. Образующиеся гидросиликаты кальция ($\approx 20\%$ от общего веса) связывают (цементируют) основное количество крупных зерен песка в монолит.

Твердение силикатного кирпича не прекращается, а прочность повышается после запаривания.

Образующиеся в результате реакции гидросиликаты срастаются с зёрнами песка в прочный камень. Однако прочность силикатного кирпича продолжает повышаться после запаривания. Часть извести, не вступившая в реакцию с кремнезёмом песка, реагирует с углекислотой воздуха, образуя прочный CaCO_3 , т.е. происходит *карбонизация*



Прочность, водостойкость и морозостойкость кирпича продолжает увеличиваться при его высыхании.

Автоклав: стальной цилиндр диаметром 2,6 ... 3,6 м, длиной 20 ... 30 м, с торцов герметически закрывающийся крышками.

Автоклав снабжён манометром, показывающим давление пара и предохранительным клапаном, автоматически открывающимся при повышении давления выше предельного. С повышением температуры ускоряется реакция между известью и песком, при температуре 174°C она протекает в течение 8 ... 10 часов. Быстрое твердение происходит не только при высокой температуре, но и при высокой влажности. Для этого в автоклав пускают пар под давлением до 0,8 ... 1,3 МПа, и это давление выдерживают 6 ... 8 часов. Подъём и снижение давления происходит около 1,5 часов. Цикл запаривания продолжается 10 ... 14 часов. Запаривание сырца в автоклаве (по П.И. Баженову) условно состоит из пяти этапов.

1. От начала пуска пара до установления в автоклаве температуры 100°C .
2. От начала подъёма давления пара до установления максимально заданного; время 1 и 2 этапа 1,5 ... 2 часа.
3. Выдержка изделия при постоянной температуре и давлении – 4 ... 8 часов.
4. Этап начинается с момента снижения давления и температуры до 100°C – 2 ... 4 часа.
5. Предусматривает остывание изделий до температуры 18 ... 20°C (возможно добавление вакуумирования).

3.1.3. Характеристики силикатного кирпича по ГОСТ 379–95

Размеры:

250 × 120 × 65 – одинарный (обычный);

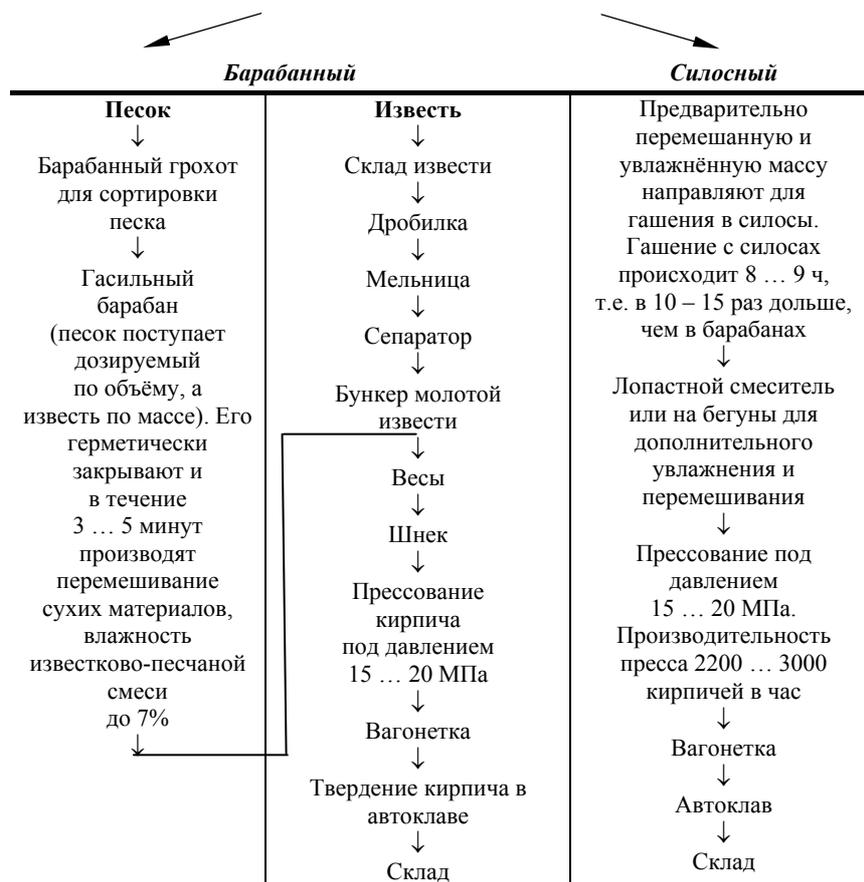
250 × 120 × 88 – модульный;

250 × 120 × 138 – силикатный камень (цвет кирпича светло-серый).

Силикатные камни изготавливают только пустотелыми. Масса модульного кирпича в сухом состоянии должна быть не более 4,3 кг.

Виды кирпича: сплошной и пустотелый (с пустотами замкнутыми с одной стороны), лицевой и рядовой, пустотелый кирпич на 25% легче обычного (табл. 3.1, рис. 3.1, в).

Производство силикатного кирпича ведут двумя способами:



Марки силикатного кирпича: 75; 100; 125; 150; 175; 200; 250; 300 (табл. 3.2).

3.1. Средняя плотность и теплопроводность силикатного кирпича

Наименование	Плотность ρ , кг/м ³	Теплопроводность λ , Вт / (м · К)
Обыкновенный	> 1650	до 0,7
Условно-эффективный	1400 ... 1650	до 0,58
Эффективный	< 1400	до 0,46

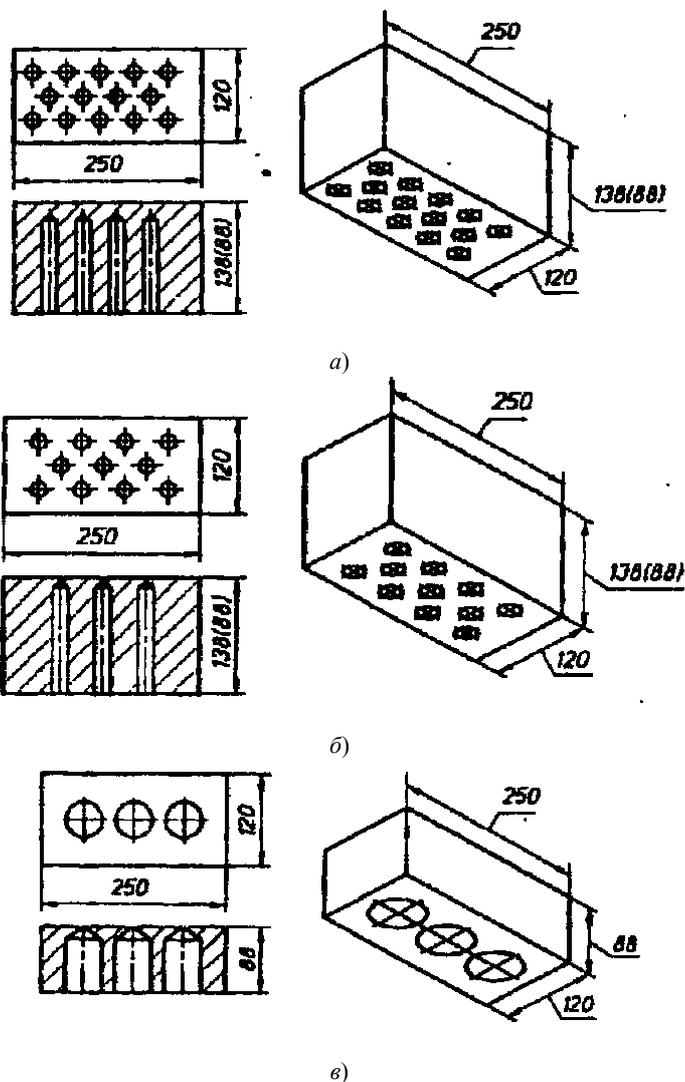


Рис. 3.1. Виды пустотелых изделий:

а – камень (кирпич) 14-пустотный (диаметр отверстий 30 ... 32 мм, пустотность 28 ... 31 %); б – камень (кирпич) 11-пустотный (диаметр отверстий 27 ... 32 мм, пустотность 22 ... 25 %); в – кирпич 3-пустотный (диаметр отверстий 52 мм, пустотность 15%)

3.2. Средние показатели прочности кирпича в зависимости от марки (ГОСТ 379–95)

Марка кирпича	Предел прочности, МПа			
	при сжатии (всех изделий)		при изгибе (одинарного и утолщённого полнотелого кирпича)	
	средний для 5-ти образцов	наименьший для отдельного образца	средний для 5-ти образцов	наименьший для отдельного образца
300	30	25	4,0	2,7
250	25	20	3,5	2,3
200	20	15	3,2	2,1
175	17,5	13,5	3,0	2,0
150	15	12,5	2,7	1,8
125	12,5	10,0	2,4	1,6
100	10	7,5	2,0	1,3
75	7,5	5,0	1,6	1,1

Марка по прочности лицевого кирпича должна быть не менее 125, лицевых камней – не менее 100. Предел прочности при изгибе определяют по фактической площади изделия без вычета площади пустот. Предел прочности (напряжение) при изгибе вычисляется по формуле

$$R_{\text{изг}} = 3/2Pl/bh^2, \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)},$$

где P – разрушающая нагрузка (сила), МН (кгс); l – расстояние между порами, м (см); h – толщина образца, м (см); b – ширина образца, м (см).

Предел прочности (напряжения) при сжатии – вычисляют по формуле

$$R_{сж} = P/F, \text{ Н/м}^2 \text{ (Па)},$$

где P – разрушающая нагрузка (сила), МН (кгс); F – площадь образца, м² (см²).

Водопоглощение 8 ... 16% (лицевого не более 14%, рядового не более 16 %).

Теплопроводность 0,46 ... 0,7 Вт/(м · К).

Плотность 1800 ... 2000 кг/м³.

Морозостойкость: Мрз 15 (рядового), 25, 35, 50 (лицевого кирпича).

Преимущество силикатного кирпича над глиняным заключается в том, что на его производство требуется в 2 раза меньше топлива, в 3 раза меньше электроэнергии и в 2,5 раза ниже трудоёмкость производства, в конечном итоге себестоимость силикатного кирпича оказывается на 25 ... 35 % ниже, чем глиняного.

Однако *недостатками* силикатного кирпича являются бóльшая по сравнению с глиняным его теплопроводность и вес, больший объёмный вес. Силикатный кирпич менее стоек против химических воздействий, имеет меньшую огнестойкость, чем обыкновенный керамический кирпич.

Нельзя использовать силикатный кирпич для кладки фундаментов и цоколей, для кладки печей, так как при длительном воздействии высокой температуры происходит дегидратация гидросиликата кальция и гидроксида оксида кальция, которые связывают зерна песка и кирпич разрушается.

При температуре 500°С происходит дегидратация Ca(OH)₂ на CaO и H₂O, а при температуре 573°С кварц скачкообразно увеличивается в объёме (β-кварц переходит в α-кварц), что нарушает структуру кирпича и существенно понижает его прочность.

При температуре 600°С происходит снижение прочности силикатного кирпича на 80%, а при 700°С в нём появляются трещины.

Применение: для кладки несущих стен и столбов в жилых, общественных и промышленных зданиях, но выше гидроизоляционного слоя.

Силикатные автоклавные материалы – это бесцементные материалы и изделия (силикатные бетоны, силикатный кирпич, камни, блоки), приготовленные из сырьевой смеси, содержащие известь (гашёную или молотую негашёную), кварцевый песок и воду, которые образуют в процессе автоклавной обработки гидросиликаты кальция.

3.2. СИЛИКАТНЫЙ БЕТОН

Расчёт состава силикатного бетона

Формулы прочности плотного силикатного бетона и расчёт составляющих

1. Без учёта остаточного содержания воздуха

$$R_b = aR_{ц} \left(\frac{Ц}{В} - b \right).$$

2. С учётом остаточного объёма воздуха

$$R_b = aR_{ц} \left(\frac{Ц}{В + 0,5B_1} - b \right),$$

где R_b – прочность бетона автоклавного твердения, кгс/см²; $R_{ц}$ – активность вяжущего автоклавного твердения, кгс/см²; $\frac{Ц}{В}$ – цементноводное (вяжущеводное) отношение; $Ц$ – расход цемента, кгс/м³; $В$ – расход воды, л/м³; B_1 – содержание остаточного объёма воздуха в бетонной смеси (условное содержание воды в смеси, равное объёму воздуха, оставшегося после уплотнения), л/м³; a, b – числовые коэффициенты;

$$a = b = 0,6 \text{ при } \frac{Ц}{В + 0,5B_1} \leq 2,5;$$

$$a = 0,4; b = 0,3 \text{ при } \frac{Ц}{В + 0,5B_1} \geq 2,5.$$

Содержание остаточного объёма воздуха B_1 в бетонной смеси подсчитывают по формуле

$$B_1 = 1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + В \right) \text{ л/м}^3,$$

где $Ц, П, В$ – содержание цемента, песка и воды в смеси, кг/м³; $\rho_{ц}, \rho_{п}$ – плотность цемента и песка.

Для состава 1 : 4 при жёсткости смеси 30 ... 50 с на мелкозернистом песке $B_1 = 55 \dots 85$ л/м³, на крупнозернистом $B_1 = 30 \dots 70$ л/м³.

Содержание цемента (вяжущего), песка и воды в смеси вычисляют по формулам:

$$\Pi = \frac{m_V^c}{1 + n + (B/\Pi)};$$

$$\Pi = \Pi n; \quad B = \Pi(B/\Pi).$$

где m_V^c – объёмная масса уплотнённой смеси, кг/м³; n – отношение песка к цементу по массе.

Используя методику расчёта и рекомендуемые значения соотношения компонентов для плотного силикатного бетона (табл. 3.3 – 3.7), можно готовить изделия с различными заданными характеристиками и свойствами.

3.3. Зависимость содержания активной СаО в смеси Ас, % от зернового состава песка

Марка бетона	Песок			
	очень мелкий	мелкий	средний	крупный
150	5,5	5,2	5	4,5
200	6	5,7	5,5	5
300	7,7	7,5	7	6,5
400	9,5	9	8,5	8

3.4. Жёсткость Ж, с, силикатной бетонной смеси при изготовлении различных деталей

Детали	По техническому вискозиметру под пригрузом 50 гс/см ³	По прибору НИИ-200 под пригрузом 100 гс/см ²	Ориентировочная продолжительность вибрирования, мин
Блоки наружных и внутренних стен	300 ... 400	100	6 ... 7
Пустотельные настилы	180	25 ... 30	4 ... 5
перекрытий	140	25 ... 30	3,5 ... 4
Цокольные панели			
Панели внутренних стен	120	25 ... 30	3
Лестничные марши	50	–	2

3.5. Зависимость жёсткости, с, по техническому вискозиметру от влажности силикатной бетонной смеси и зернового состава песка

Влажность смеси, %	Содержание в смеси песка			
	очень мелкого	мелкого	среднего	крупного
10	–	–	300	180
11	–	400	200	100
12	400	300	120	60
13	300	200	80	40
14	220	120	50	25
15	140	60	30	15
16	80	40	20	10
17	50	25	15	5

3.6. Зависимость объёмной массы сухой смеси, кг/м³, от формовочной влажности смеси W_c

Формовочная влажность смеси, %	Марка бетона	
	150	200
10	1795	1960
11	1780	1930
12	1770	1895
13	1755	1870
14	1740	1840
15	1730	1810
16	1710	1770
17	1700	1750

3.7. Зависимость расхода вяжущего и воды от формовочной влажности смеси и удельной поверхности молотого песка

Формовочная влажность смеси, %	Расход при марке бетона 150			Расход при марке бетона 200				
	воды, л/м ³	вяжущего, кг/м ³ , при удельной поверхности молотого песка, см ² /г		воды, л/м ³	вяжущего, кг/м ³ , при удельной поверхности молотого песка, см ² /г			
		1500	2000		1500	2000	2500	3000
10	190	260	225	210	310	260	250	240
11	205	280	245	225	325	275	260	250
12	220	300	255	240	340	290	275	260
13	230	320	270	250	360	305	290	270
14	245	335	290	260	375	320	300	290
15	260	355	305	275	395	340	315	300
16	280	375	320	290	410	350	330	310
17	290	390	335	300	425	370	340	320

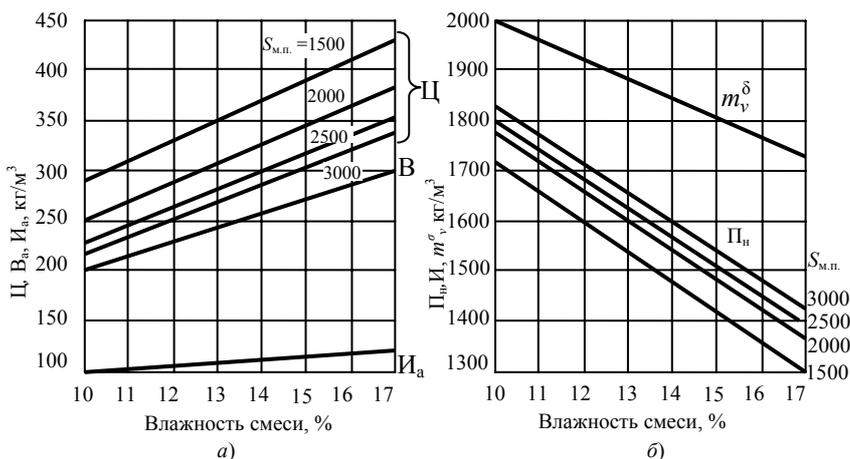


Рис. 3.2. Зависимость состава силикатного бетона марки 200 от влажности смеси и дисперсности молотого песка:

I_a – содержание активной извести; B – количество воды в смеси; Π – содержание известково-песчаного вяжущего; Π_n – содержание немолотого песка; m_v^δ – объёмная масса уплотнённого бетона; $S_{m.p.}$ – удельная поверхность молотого песка

3.3. ЗАДАЧИ

Задача 1. Определить состав смеси для производства силикатного кирпича, если известно: активность извести $A_{и} = 78$ (содержание активных CaO + MgO); требуемая активность смеси 5,5% и влажность $W = 8\%$; объёмная масса после прессования (объёмная масса сырца) $m_V = 1900 \text{ кг/м}^3$.

Решение 1. Содержание CaO + MgO в 1 м^3 смеси

$$I_a = \frac{m_V(\text{активность смеси})}{100\%} = \frac{1900 \cdot 5,5}{100} = 104,5 \text{ кг.}$$

2. Требуемое (общее) количество товарной извести активностью 78%

$$I_o = \frac{I_a 100}{A_{и}} = \frac{104,5 \cdot 100}{78} = 134 \text{ кг/м}^3.$$

3. Содержание воды в 1 м^3 смеси

$$B = \frac{m_V W}{100} = \frac{1900 \cdot 8}{100} = 152 \text{ л.}$$

4. Содержание сухой смеси в 1 м^3 сырца

$$(I_o + \Pi) = m_V - B = 1900 - 152 = 1748 \text{ кг.}$$

5. Количество песка на 1 м^3 готовой смеси (кирпича)

$$\Pi = (I_o + \Pi) - I_o = 1748 - 134 = 1614 \text{ кг}$$

Таким образом, состав смеси: извести товарной 134 кг, песка 1614 кг, воды 152 л.

Задача 2. Рассчитать требуемое количество составляющих для приготовления 1 т известково-кремнезёмистого вяжущего активностью $A_{вяж} = 30\%$. Активность применяемой извести $A_{и} = 82\%$, при помолё вводится 5% гипса от массы активной извести.

Решение 1. Количество активной извести в 1 т вяжущего активностью 30% составляет

$$I_a = 1000 A_{вяж} = 1000 \cdot 0,3 = 300 \text{ кг.}$$

2. Требуемое количество товарной извести

$$I_o = \frac{I_a 100}{A_{и}} = \frac{300 \cdot 100}{82} = 366 \text{ кг.}$$

3. Количество гипса

$$\Gamma = 0,05 I_a = 0,05 \cdot 300 = 15 \text{ кг.}$$

4. Количество молотого песка

$$\Pi_m = 1000 - I_o - \Gamma = 1000 - 366 - 15 = 619 \text{ кг.}$$

Итак, для получения 1 т вяжущего при помолё требуется извести товарной 366 кг (36,6%); песка 619 кг (61,9%); гипса 15 кг (1,5%)

Задача 3. Рассчитать состав известково-песчаного бетона автоклавного твердения для пробного замеса, если заданная марка бетона 200; жёсткость смеси 50 с; вяжущее – известково-песчаное; активность извести $A_{и} = 60\%$ (содержание активной CaO); удельная поверхность молотого песка $S_{m,п} = 2500 \text{ см}^2/\text{г}$; плотность ρ вяжущего 2,7, а песка $2,6 \text{ г/см}^3$; песок среднезернистый.

Решение 1. По табл. 3.5 определяем для среднезернистого песка при жёсткости 50 с его влажность равную $W_c = 14\%$; по табл. 3.6 – объёмную массу сухой смеси при формовочной влажности 14%:

$$m_V = 1840 \text{ кг/м}^3;$$

по табл. 3.7 – расход вяжущего материала $\Pi = 300 \text{ кг}$ и расход воды $B = 260 \text{ л}$ на 1 м^3 бетона; по табл. 3.3 – содержание активной CaO в смеси $A_c = 5,5\%$.

2. Зная объёмную массу сухой смеси и процентное содержание в ней активной CaO, находим количество активной CaO, находим количество активной CaO (I_a) по формуле

$$I_a = \frac{A_c m_V}{100} = \frac{5,5 \cdot 1840}{100} = 101 \text{ кг/м}^3.$$

3. Общее количество извести CaO в 1 м^3 смеси (I_o) находим по формуле

$$I_o = \frac{I_a}{A_u} 100 = \frac{101}{60} 100 = 168 \text{ кг/м}^3.$$

4. Содержание активной CaO в вяжущем подсчитываем по формуле

$$A_{\text{вяз}} = \frac{I_a}{Ц} 100 = \frac{101}{300} 100 = 33,7\% .$$

5. Содержание молотого песка определяем как разность между вяжущим (смесь извести с молотым песком) и известью

$$П_m = Ц - I_o = 300 - 168 = 132 \text{ кг/м}^3.$$

6. Количество немолотого песка равно разности между сухой смесью и вяжущим:

$$П_n = m_V - Ц = 1840 - 300 = 1540 \text{ кг/м}^3.$$

7. Расход материалов на 1 м³ бетона, кг:

Вяжущее Ц = 300 (в том числе: I_o = 168; П_m = 132)

Песок П_n = 1540

Вода В = 260

Итого: 2100

8. Состав бетона для пробного замеса при В/Ц = 0,867; Ц : П = 1 : 5,13.

Задача 4. Подобрать состав силикатного бетона для пробного замеса при принятом режиме автоклавной обработки.

Дано: марка бетона 200; жёсткость смеси 60 с; материалы: песок мелкозернистый; удельная поверхность молотого песка $S_{m.п.} = 2000 \text{ см}^2/\text{г}$; активность извести $A_n = 55\%$.

Решение. 1. Для обеспечения заданной жёсткости (60 с) влажность смеси должна быть 15% (табл. 3.5). По рисунку 3.2, а берём расход вяжущего Ц = 330 кг/м³; песка немолотого П_n = 1480 кг/м³ (рис. 3.2, б); воды В = 270 л/м³, извести активной I_a = 110 кг/м³.

2. Подсчитываем общий расход извести

$$I_o = \frac{I_a}{A_n} = \frac{110}{55} \cdot 100 = 200 \text{ кг/м}^3.$$

3. Содержание активной СаО в вяжущем составит

$$A_{\text{вяз}} = \frac{I_a}{Ц} 100 = \frac{110}{330} \cdot 100 = 33,3\%.$$

4. Содержание молотого песка

$$П_m = Ц - I_o = 330 - 200 = 130 \text{ кг/м}^3.$$

5. Расход материалов на 1 м³ бетона, кг:

Известково-песчаный

вяжущий материал Ц = 330 (в том числе: I_o = 200; П_m = 130)

Песок немолотый П_n = 1480

Вода В = 270

Итого: 2080

6. Состав бетона для пробного замеса при В/Ц = 0,816 ;

Ц : П = 1 : 4,48.

Задача 5. Вывести расчётную формулу прочности силикатного бетона в зависимости от активности вяжущего и цементоводного отношения, если активность силикатного (известково-кремнеземистого) вяжущего $R_{ц} = 820 \text{ кгс/см}^2$ и при испытании образцов бетона получены следующие средние результаты: $R_6 = 350 \text{ кгс/см}^2$ при Ц/В = 2 и $R_6 = 600 \text{ кгс/см}^2$ при Ц/В = 3. Решение задачи основывается на том, что общая зависимость прочности силикатного бетона описывается функцией $R_6 = f(\text{Ц/В})$ и может быть выражена общей формулой прочности бетона

$$R_6 = aR_{ц} (\text{Ц/В} - b),$$

где a и b – коэффициенты, зависящие от качества материалов, режима автоклавной обработки и других технологических факторов.

Таким образом, решение сводится к построению графика $R_6 = f(\text{Ц/В})$ по имеющимся данным для конкретных материалов и технологических параметров и к определению коэффициентов a и b .

Решение. 1. Построив график $R_6 = f(\text{Ц/В})$, на рис. 3.3 находим, что $b = 0,5$ (b определяется величиной отрезка на оси абсцисс, отсекаемого прямой).

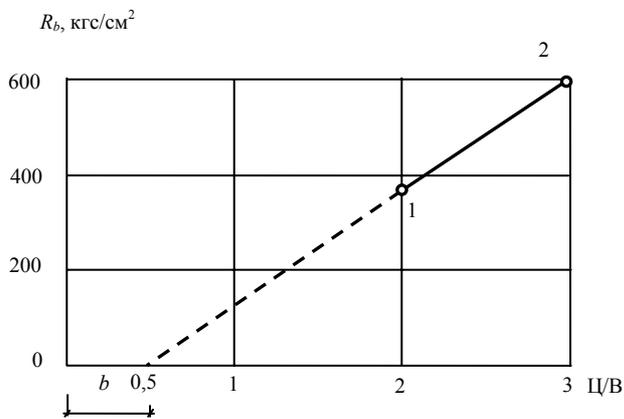


Рис. 3.3. Зависимость прочности силикатного бетона от цементноводного отношения

2. Подставив значения R_6 и Ц/В в общую формулу $R_6 = aR_{\text{ц}}(\text{Ц/В} - 0,5)$, при $R_{\text{ц}} = 820$, получим

$$a = \frac{R_6}{R_{\text{ц}}(\text{Ц/В} - 0,5)} = \frac{R_6}{820(\text{Ц/В} - 0,5)},$$

следовательно,

$$a_1 = \frac{350}{820(2 - 0,5)} = 0,284 \text{ и } a_2 = \frac{600}{820(3 - 0,5)} = 0,293.$$

Среднее значение

$$a = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{0,284 + 0,293}{2} = 0,288.$$

Расчётная формула прочности силикатного бетона (справедливая для данных конкретных условий)

$$R_6 = 0,29R_{\text{ц}}(\text{Ц/В} - 0,5).$$

Задача 6. Определить состав мелкозернистого силикатного бетона марки 300 для опытного замеса, используя расчётную формулу прочности из предыдущей задачи $R_6 = 0,29R_{\text{ц}}(\text{Ц/В} - 0,5)$.

Дано: активность вяжущего $R_{\text{ц}} = 820 \text{ кгс/см}^2$; оптимальная влажность смеси $W = 14\%$; плотность ρ песка 2,65, цемента 2,7 г/см^3 .

Решение. Решение задачи сводится к составлению трёх уравнений для определения трёх неизвестных: Ц, В, П (расход вяжущего, воды и песка).

1. Из уравнения прочности

$$R_6 = aR_{\text{ц}}(\text{Ц/В} - b)$$

определяем Ц/В :

$$\text{Ц/В} = \frac{R_6}{aR_{\text{ц}}} + b = \frac{300}{0,29 \cdot 820} + 0,5 = 1,76,$$

тогда $\text{Ц} = 1,76\text{В}$.

2. Уравнение для подсчёта влажности позволяет вычислить соотношение между водой и песком:

$$W = \frac{\text{В}}{\text{В} + \text{Ц} + \text{П}},$$

где W – влажность смеси (0,14) в долях единицы.

Тогда

$$W = 0,14 = \frac{\text{В}}{\text{В} + 1,76\text{В} + \text{П}} = \frac{\text{В}}{2,76\text{В} + \text{П}};$$

отсюда

$$\text{В} = 0,14(2,76\text{В} + \text{П}) = 0,14 \cdot 2,76\text{В} + 0,14\text{П};$$

следовательно,

$$\text{В} - 0,14 \cdot 2,76\text{В} = 0,14\text{П};$$

откуда

$$\text{В} = \frac{0,14\text{П}}{1 - 0,14 \cdot 2,76} = 0,23\text{П}; \quad \text{П} = 4,35\text{В}.$$

3. Теперь уравнение абсолютных объёмов

$$V_6 = \frac{\Pi}{\rho_{\Pi}} + B + \frac{\Pi}{\rho_{\Pi}} = 1000$$

позволяет определить расход воды и остальных компонентов. Подставив в эту формулу числовые значения ρ и выразив Π и Π через B :

$$V_6 = \frac{1,76B}{2,7} + B + \frac{4,35B}{2,65} = 1000,$$

получим

$$3,29B = 1000,$$

откуда

$$B = \frac{1000}{3,29} = 304 \text{ л.}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \Pi &= 1,76B = 1,76 \cdot 304 = 535 \text{ кг}; \\ \Pi &= 4,35B = 4,35 \cdot 304 = 1323 \text{ кг}. \end{aligned}$$

Таким образом,

$$m_{V^{\text{б.с.}}} = \Pi + \Pi + B = 535 + 1323 + 304 = 2162 \text{ кг/м}^3.$$

Задача 7. Рассчитать состав силикатного бетона на крупном заполнителе для опытного замеса, используя формулу прочности бетона

$$R_6 = 0,29R_{\Pi}(\Pi/B - 0,5).$$

Дано: марка бетона 300; влажность смеси, обеспечивающая надлежащую удобоукладываемость, составляет $W = 10,5\%$; активность вяжущего $R_{\Pi} = 700 \text{ кгс/см}^2$; соотношение между мелким и крупным заполнителями $\Pi:\Pi = 0,5$. Истинная плотность песка ρ песка 2,65, щебня 2,6, кремнеземистого вяжущего (цемента) 2,7 г/см³.

Решение. Решение этой задачи, как и предыдущей, основано на трёх уравнениях.

1. Из уравнения прочности бетона

$$R_6 = 0,29R_{\Pi}(\Pi/B - 0,5)$$

находим

$$\Pi/B = \frac{R_6}{0,29R_{\Pi}} + 0,5 = \frac{300}{0,29 \cdot 700} + 0,5 = 1,98 \approx 2,$$

откуда $\Pi = 2B$.

2. Из уравнения влажности

$$W = \frac{B}{B + \Pi + \Pi + \Pi} = 0,105 = \frac{B}{B + 2B + \Pi + 2\Pi} = \frac{B}{3B + 3\Pi}$$

находим

$$B = 0,315B + 0,315\Pi,$$

откуда

$$B = \frac{0,315}{1 - 0,315} \Pi = 0,46\Pi; \quad \Pi = 2,18B.$$

3. Из уравнения абсолютных объёмов определяем расход материалов:

$$\begin{aligned} V_6 &= \frac{W}{\rho_{\Pi}} + B + \frac{\Pi}{\rho_{\Pi}} + \frac{\Pi}{\rho_{\Pi}} = 1000; \\ \frac{2B}{2,7} + B + \frac{2,18B}{2,65} + \frac{2 \cdot 2,18B}{2,6} &= 1000, \end{aligned}$$

отсюда

$$4,24B = 1000.$$

Тогда

$$\begin{aligned} B &= 1000 : 4,24 = 236 \text{ л(кг)}; \\ \Pi &= 2B = 2 \cdot 236 = 472 \text{ кг/м}^3; \\ \Pi &= 2\Pi = 2 \cdot 2,18 \cdot 236 = 1029 \text{ кг/м}^3. \end{aligned}$$

4. Состав бетона для пробного замеса при $B/\Pi=0,5$

$$\frac{472}{472} : \frac{515}{472} : \frac{1029}{472} = 1 : 1,09 : 2,18.$$

Задача 8. На 1 м^3 мелкозернистого силикатного бетона марки 300 расходуют вяжущего 500 кг, песка 1320 и воды 260 л. Истинная плотность вяжущего 2,7, песка 2,64 г/см³. Пользуясь формулами прочности, подсчитать активность вяжущего. При расчёте учесть содержание остаточного воздуха в бетонной смеси.

Решение. 1. Из уравнения абсолютных объёмов определяем содержание остаточного воздуха V_1 в 1 м^3 смеси:

$$V_1 = 1000 - \left(\frac{\Pi}{\rho_{\Pi}} + \frac{\Pi}{\rho_{\Pi}} + V \right) = 1000 - \left(\frac{500}{2,7} + \frac{1320}{2,64} + 260 \right) = 55 \text{ л.}$$

2. Из уравнения прочности

$$R_b = 0,6R_{\Pi} \left(\frac{\Pi}{V + 0,5V_1} - 0,6 \right)$$

определяем активность цемента

$$R_{\Pi} = \frac{R_b}{0,6 \left(\frac{\Pi}{V + 0,5V_1} - 0,6 \right)} = \frac{300}{0,6 \left(\frac{500}{260 + 0,5 \cdot 55} - 0,6 \right)} = 441 \text{ кгс/см}^2.$$

Задача 9. Рассчитать состав опытного замеса для приготовления газосиликата объёмной массой 800 кг/м³. Материалы: известь-кипелка активностью $A_{\Pi} = 76\%$, песок кварцевый, алюминиевая пудра и вода. Для извести активностью $A_{\Pi} = 70\%$ коэффициент $C_1 = 3$; текучесть раствора (диаметр расплыва конуса) 17 см (при объёмной массе 800 кг/м³ для бетона на извести). В расчётах принять водотвёрдое отношение $V/T = 0,49$ (при текучести 17 см).

Решение. 1. Определяем расчётное значение коэффициента C для данной извести ($A_{\Pi} = 76\%$):

$$C = \frac{76}{70} C_1 = \frac{76}{70} \cdot 3 = 3,26 \approx 3,3.$$

Оптимальное значение C устанавливают на основе дополнительных замесов со значениями C , которые равны 2,4; 2,6; 2,8; 3; 3,3; 3,4.

2. Величину пористости, которая должна быть создана порообразователем для получения на данных материалах газосиликата заданной объёмной массы определим по формуле

$$\Pi_r = 1 - \frac{m_V}{K_c} (\omega + V/T),$$

где m_V – объёмная масса газобетона (0,8 т/м³); K_c – коэффициент увеличения массы сухого вещества в результате твердения за счёт связанной воды (принимается равным 1,1); ω – удельный (абсолютный) объём сухой смеси, л/м³ (принимается равным 0,38); V/T – водотвёрдое отношение, принятое равным 0,49.

Подставив числовые значения, получим

$$\Pi_r = 1 - \frac{0,8}{1,1} (0,38 + 0,49) = 0,37.$$

3. Расход алюминиевой пудры на замес газосиликата ($V = 1000$ л) для получения расчётной пористости определяем по формуле

$$P_{\Pi} = \frac{\Pi_r}{\alpha K} V,$$

где α – коэффициент использования порообразователя, равный 0,85; K – выход пор (отношение объёма газа к массе газообразователя).

При использовании алюминиевой пудры при $t = 40^\circ\text{C}$; $K = 1390$ л/кг; V – объём замеса (1000 л).

Подставляем значения величин:

$$P_{\Pi} = \frac{0,37}{0,85 \cdot 1390} \cdot 1000 = 0,313 \text{ кг} = 313 \text{ г.}$$

4. Расход основных материалов на замес ячеистого бетона:

– вяжущее (известь)

$$P_{\Pi} = \frac{m_V}{K_c (1 + C)} = \frac{0,8 \cdot 1000}{1,1(1 + 3,3)} = 169 \text{ кг;}$$

– кремнеземистый компонент (песок молотый)

$$P_k = C P_{\Pi} = 3,3 \cdot 169 = 558 \text{ кг;}$$

– вода $P_v = (P_{\Pi} + P_k) V/T = (169 + 558) \cdot 0,49 = 356 \text{ л.}$

Расчётные коэффициенты и весь состав бетона уточняют пробными замесами.

4. ЦЕМЕНТЫ

4.1. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ

Сырьё: известняк 75%;
глина 25% (~ 3 : 1).

- Все виды известняков (известковый мергель, мергель, плотный известняк, мел, глины, глинистые сланцы).
- Глина, с которой вводится в цемент кремнезём SiO_2 , глинозём Al_2O_3 и окись железа Fe_2O_3 .
- Корректирующие добавки, чтобы довести до требуемой нормы содержания того или иного кислотного окисла.
- Для регулирования сроков схватывания после измельчения клинкера в него вводят 3 ... 5% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – гипса.

В процессе обжига сырьевой смеси из CaCO_3 удаляется CO_2 , оставшиеся 4 оксида образуют клинкерные минералы.

Содержание оксидов в цементе CaO – 62 ... 68%; SiO_2 – 21 ... 24%; Al_2O_3 – 4 ... 8%; Fe_2O_3 – 2 ... 5%.

Содержание минералов в портландцементе:

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (алит) трехкальциевый силикат	45 ... 60 %	C_3S
	} 70 ... 80%	
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (белит) двухкальциевый силикат	20 ... 30 %	C_2S
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (целит) трехкальциевый алюминат	4 ... 12 %	C_3A
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ четырёхкальциевый алюмоферрит	10 ... 20 %	C_4AF

4.1.1. Процессы в печи при обжиге портландцемента

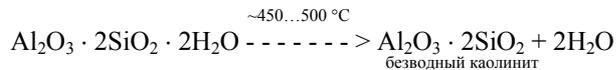
70 ... 200°C – испарение свободной воды

зона испарения

(зона сушки)

200 ... 700°C – выгорание органических примесей и дегидратация

зона подогрева минералов, входящих в состав глин.



700 ... 1100°C – диссоциация карбонатных солей кальция (и магния).

зона

декарбонизации

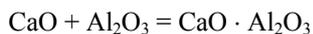
900°C



распад дегидратированных глинистых минералов на оксиды SiO_2 , Al_2O_3



которые вступают в химическое взаимодействие с CaO

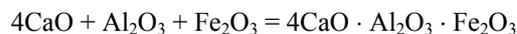
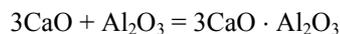


и частично $2\text{CaO} + \text{SiO}_2 = 2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ (реакции происходят в твердом состоянии).

1100 ... 1250°C – твердофазовые реакции образования.

зона экзотерми-

ческой реакции



1300 ... 1450...1300°C – $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ растворяется в клинкерной

зона спекания

жидкости $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ и $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$

и при $t = 1450^\circ\text{C}$ взаимодействует с CaO



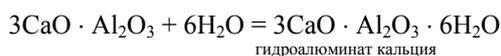
(наличие жидкой фазы обязательно, т.е. обжиг ведут до спекания). CaO свободной в клинкере не больше 0,5 ... 1%.

1300 ... 1000°C – полностью формируется его структура и состав.

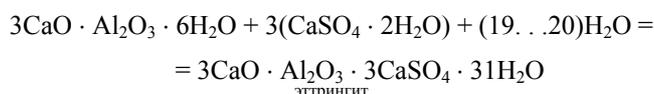
зона охлаждения

При выходе из печи клинкер интенсивно охлаждается до 100 ... 200°C и выдерживается на складе 1–2 недели.

4.1.2. Твердение портландцемента



Гипс вводят для замедления схватывания портландцемента:



Образуется труднорастворимый гидросульфалоюминат кальция (эттрингит) с увеличением объёма вдвое. Заполняя поры цементного камня, эттрингит повышает его механическую прочность и стойкость. Уменьшается количество рыхлых гидроалюминатов кальция.

Из графика (рис. 4.1) видно, что наиболее быстро набирает прочность C₃S. За 7 суток около 70% 28-суточной прочности.

C₂S за 7 суток набирает ~15% своей прочности, но в последующий период твердения его прочность быстро повышается и в какой-то период даже может превысить прочность C₃S.

C₃S гидратируется быстрее чем C₂S.

C₃A быстро гидратируется, но продукты гидратации образуют пористую структуру в отличие от C₃S и C₂S.

Низкая прочность характерна для мономинеральной смеси, состоящей из одного минерала C₃A. В полиминеральных смесях C₃A способствует уплотнению коллоидных силикатных масс следовательно повышению прочности цементного камня и скорости его твердения.

C₄AF – занимает промежуточное положение между C₃A и C₂S.

Для получения цемента с умеренной экзотермией клинкер должен содержать относительно небольшое количество C₃S и C₃A.

C₃S – быстрота твердения, прочность 45 ... 60% в клинкере.

C₂S – медленно твердеет, но прочность высокая 20 ... 30%.

C₃A – медленно твердеет, вызывает сульфатную коррозию 4 ... 12%, рыхлый продукт твердения.

C₄AF – твердеет быстрее C₂S, но медленнее C₃S, 10 ... 20%.

Клинкерное стекло состоит из CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, Na₂O, K₂O.

Содержание CaO < 5%; MgO < 1%.

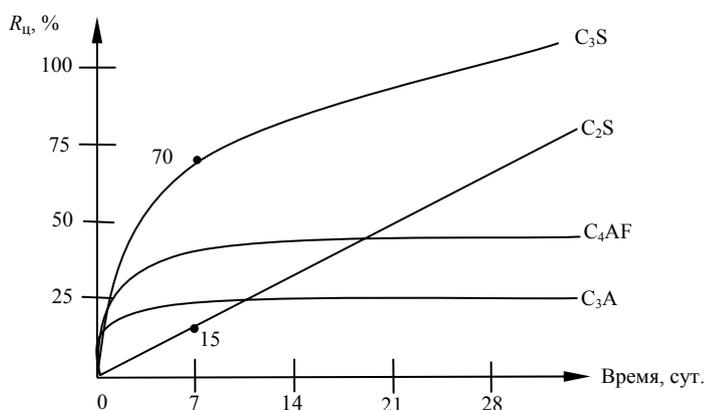


Рис. 4.1. График нарастания прочности минералов клинкера портландцемента

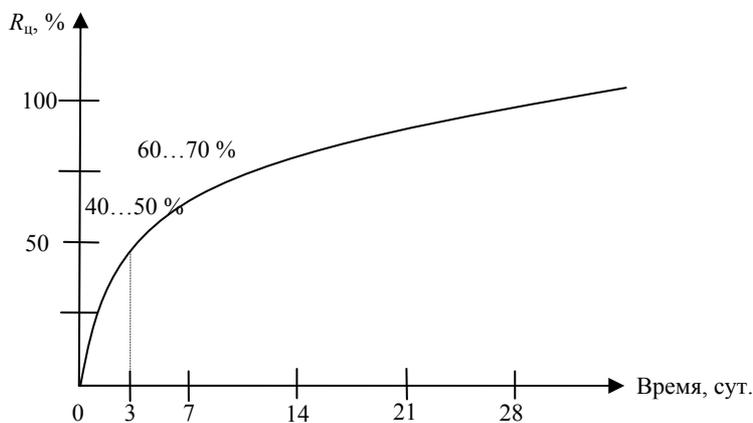


Рис. 4.2. График нарастания прочности портландцемента

В зависимости от содержания минералов различают цемент: *высокоалитовый* > 60% C_3S , *алитовый* – 50 ... 60% C_3S , *белитовый* > 35 % C_2S , *алюминатный* > 12% C_3A , *алюмоферритовый* > 20% C_4AF .

Прочность цемента(рис. 4.2) нарастает неравномерно: в возрасте 3-х суток она достигает ~ 40 ... 50% марки цемента, а в возрасте 7 суток ~ 60 ... 70%. В последующий период рост прочности еще более замедляется и к 28 суткам цемент набирает марочную прочность. Однако при благоприятных условиях твердение портландцемента может продолжаться месяцы и даже годы и в 2–3 раза превысить марочную (28-суточную прочность) (рис. 2).

Прочность цементного камня и скорость его твердения зависит от минералогического состава клинкера, тонкости помола цемента, содержания воды, влажности и температуры среды, продолжительности хранения.

4.1.3. Физические и механические свойства цемента

Средняя плотность: 3 ... 3,2 г/см³ (в зависимости от химического и фазового состава).

Насыпная плотность 900 ... 1100 кг/м³ в рыхлом состоянии и 1400 ... 1700 кг/м³ в уплотнённом состоянии.

Водопотребность и нормальная густота теста 24 ... 28% (определяется конусом Вика).

Сроки схватывания:

начало схватывания – начало загустевания теста (не ранее 45 минут);

конец схватывания – такое состояние теста, когда подвижность его полностью потеряна (не позднее 10 часов).

По *срокам схватывания* цементы делятся на:

быстротсхватывающиеся – начало схватывания менее 45 мин;

нормальнотсхватывающиеся – начало схватывания от 45 мин до 1 ч.

медленнотсхватывающиеся – начало схватывания не ранее 1 ч 30 мин.

Схватывание замедляется с добавлением гипса (из расчёта не > 3,5%, считая на содержание SO_3^{2-}).

Ускоряется схватывание цементного теста при увеличении содержания в цементе $3CaO \cdot Al_2O_3$ и увеличение тонкости помола.

Равномерность изменения объёма важное свойство цемента, которое определяется в соответствии с требованиями стандарта.

Тонкость помола влияет на скорость схватывания и твердения, а также на прочность цементного камня. Чем тоньше помол цементного клинкера, тем выше его прочность. Тонкость помола цемента можно определить ситовым анализом и определением его удельной поверхности. Через сито 0,08 см должно проходить не менее 85% портландцемента.

Тепловыделение при схватывании и твердении.

Взаимодействие портландцемента с водой сопровождается выделением тепла. Один килограмм портландцемента выделяет за 7 суток 30 ... 65 ккал тепла в зависимости от марки цемента.

Механическая прочность балочки 40 × 40 × 160 мм: цемент : песок соотношением 1 : 3 (вольский), при водоцементном соотношении не < 0,40, 28 суток хранения в воде. Образцы-балочки испытывают на изгиб, а их половинки на сжатие:

$$R_{сж} = \frac{P}{S} \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)},$$

$$R_{изг} = \frac{3}{2} Pl / bh^2 \text{ МПа (кгс/см}^2\text{)}.$$

Предел прочности цементного раствора при сжатии в возрасте 28 суток называется активностью цемента.

Срок определения марки портландцемента составляет 28 суток, требования к прочности приведены в табл. 4.2.

Марки 300, 400, 500, 600.

Прочность портландцемента через 28 суток представлена в табл. 4.2.

4.2. Требования к прочности портландцемента

Марка портландцемента	Предел прочности через 28 суток в кгс/см ² не менее	
	при изгибе	при сжатии
300	45	300
400	55	400
500	60	500
600	65	600

4.2. ЦЕМЕНТНЫЙ КАМЕНЬ

4.2.1. Состав цементного камня

Гидросиликаты кальция $3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

Гидроалюминаты кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Гидроокись кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – до 15 % от массы цемента.

Этtringит – $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 31\text{H}_2\text{O}$.

Гидроферрит кальция – $\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$.

Процесс твердения бетона при благоприятных условиях может длиться годами.

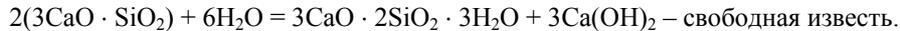
4.2.2. Коррозия цементного камня

Основные факторы коррозии:

1. Растворение составных частей цементного камня: выщелачивание $\text{Ca}(\text{OH})_2$.
2. Взаимодействие цементного камня с содержащимися в воде кислотами.
3. Образование новых продуктов кристаллизирующихся в порах цементного камня
4. Коррозия цементного камня под действием мягких вод, разрушение напорными водами (увеличение диффузии воды внутри бетона), фильтрация.

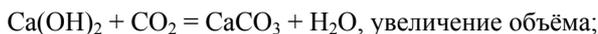
Обычно одновременно протекает несколько видов коррозии.

Причины: механическое разрушение растворение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – максимальная растворимость по сравнению с другими продуктами.



Разрушение цементного камня углекислыми водами (углекислотная коррозия)

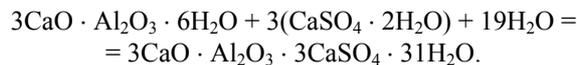
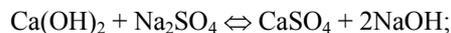
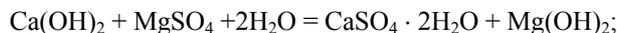
Природные воды часто содержат насыщенную углекислоту:



$\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ – растворимый бикарбонат кальция, вымывается 15 ... 20 мг/л – агрессивен для бетона.

Разрушение цементного камня водами, содержащими сульфаты

Многие природные воды являются минерализованными (особенно морская вода):

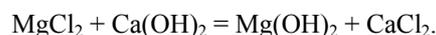


Гидросульфалюминат кальция вызывает увеличение объема твёрдой фазы цементного камня, что ведёт к возникновению внутренних напряжений в нём, а следовательно, разрушение.

В этих целях рекомендуют применять специальные цементы (пуццолановый портландцемент, сульфатостойкий портландцемент) содержащий 1500 мг/л $(\text{SO}_4)^{2-}$, а также необходимо защищать поверхность бетона непроницаемыми покрытиями и увеличивать плотность бетона.

Разрушение цементного камня магниевыми водами

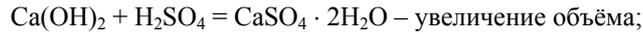
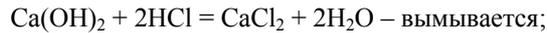
5000 мг/л Mg – агрессивные воды.



$\text{Mg}(\text{OH})_2$ – труднорастворим, осаждается в порах цементного камня в виде порошка, а CaCl_2 вымывается, что вызывает разрушение цементного камня.

Разрушение цементного камня кислыми водами

Помимо растворения (выщелачивания), наблюдается и химическая коррозия:



таким образом разрушается портландцемент, пуццолановый и шлакопортландцемент.

4.2.3. Меры борьбы с коррозией

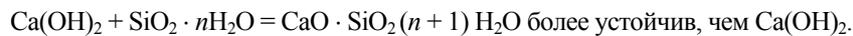
1. *Гидроизоляция* – самый надёжный и дорогой способ.
2. *Изменение минералогического состава клинкера* (уменьшение содержания C_3S):



Для повышения стойкости цемента в сульфатных водах нужно уменьшить содержание CaO до 5%.

3. *Карбонизация*. При длительном выдерживании на воздухе изделий на их поверхности образуется очень тонкая плёнка 5 ... 10 мк, не растворимая в пресной воде и не взаимодействующая с сульфатами.

4. *Пуццоланизация* заключается в введении в состав портландцемента кислых гидравлических добавок, содержащих активный глинозём



Характеристика гидравлических вяжущих представлена в табл. 4.3

4.3. Гидравлические вяжущие

Сырьё. Изготовление. Состав клинкера	Твердение цементного камня. Свойства добавок. Сроки схватывания	Свойства	Применение										
1. Портландцемент (П/Ц)													
<p><i>Сырьё:</i></p> <p>1) Известняк 75% и глина 25% (3:1).</p> <p>2) Корректирующие добавки, чтобы довести до требуемой нормы содержание того или иного кислотного окисла. Температура обжига $\approx 1450^\circ\text{C}$.</p> <p>3) После обжига в клинкер вводят 3,5% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (считая на SO_3)</p> <p>Состав клинкера:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: none;">$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – алит</td> <td style="border: none;">45 ... 60%</td> <td rowspan="3" style="border: none; vertical-align: middle;">} 70...80%</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – белит</td> <td style="border: none;">20 ... 35%</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ – целит</td> <td style="border: none;">4 ... 12%</td> </tr> <tr> <td style="border: none;">$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$</td> <td style="border: none;">– 10 ... 18%</td> <td style="border: none;"></td> </tr> </table>	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – алит	45 ... 60%	} 70...80%	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – белит	20 ... 35%	$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ – целит	4 ... 12%	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	– 10 ... 18%		<p><i>Состав цементного камня:</i></p> <p>1. Гидросиликаты кальция $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.</p> <p>2. Гидроалюминаты кальция $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.</p> <p>3. Гидроокись кальция $\text{Ca(OH)}_2 \approx 15\%$.</p> <p>4. Гидросульфалоюминат кальция-эттрингит $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.</p> <p>5. При пропаривании и автоклавной обработке $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.</p> <p>Начало схватывания – не ранее 45 мин. Конец – не позднее 10 часов</p>	<p>M300, 400, 500, 600</p> <p>Марку определяют на 28 суток. К 3 суткам – 30 ... 35%, к 7 суткам – 60 ... 70%.</p> <p>Морозостоек.</p> <p>В условиях правильной эксплуатации твердение портландцемента может продолжаться месяцы и годы и в 2–3 раза превысить марочную прочность.</p> <p>Недостаток: Выделяющийся при твердении Ca(OH)_2 вызывает коррозию портландцемента</p>	<p>Самый общепризнанный, прогрессивный и универсальный</p>
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – алит	45 ... 60%	} 70...80%											
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ – белит	20 ... 35%												
$2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ – целит	4 ... 12%												
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	– 10 ... 18%												

Сырьё. Изготовление. Состав клинкера	Твердение цементного камня. Свойства добавок. Сроки схватывания	Свойства	Применение
---	---	----------	------------

2. Быстротвердеющий портландцемент (БТЦ)

<p>$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2 - 80 \dots 85\%$ Алит (высокоалитовый) $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3 - 10 \dots 15\%$. Сумма $\text{C}_3\text{S} + \text{C}_3\text{A} < 65\%$. Обжиг ведут при более высокой температуре, чем у портландцемента, т.е. это высокоалитовый цемент. При твердении выделяется повышенное количество $\text{Ca}(\text{OH})_2$</p>	<p>Тонкость помола выше. Регулируют состав введением добавок: до 10% – активных минеральных добавок, до 15% – доменных гранулированных шлаков</p>	<p>Интенсивное нарастание прочности в 1 – 3 суток (больше половины марочной прочности), конец – 28 сут. М 400, 500, 600 и выше. Марку определяют на 3 и 28 сутки</p>	<p>Монолитный конструкции, высокопрочные и предварительно напряжённые ж/б изделия, где требуется ускоренное твердение бетона. Сборные конструкции с повышенной отпускной прочностью, а также при зимних бетонных работах... не рекомендуется использовать для строительных растворов</p>
---	---	--	--

3. Особо быстротвердеющий высокопрочный портландцемент (ОБТЦ)

<p>Состав тот же, что и БТЦ, но при помоле добавляют до 5% опоки. C_3S до 65 ... 68% C_3A до 18%</p>	<p>Более высокая тонкость помола. Остаток на сите 008 не более 7%. Повышенное тепловыделение исключает применение в массивных конструкциях</p>	<p>Отличается более высокой прочностью, чем БТЦ. М600, 700, 800. Снижает расход цемента на 15 ... 20% по сравнению с портландцементом</p>	<p>Аварийно-восстановительные работы: бетоны, к которым предъявляют высокие требования по прочности и скорости начального твердения, при зимних бетонных работах</p>
--	--	---	--

4. Белый портландцемент

<p>То же, что и П/Ц (портландцемента), имеющее минимальное содержание окрашенных оксидов Fe, Mn, Cr, Ti. Чистые известняки, мел, мраморы CaCO_3, белые каолиновые глины – $\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>Температура обжига на 100°C меньше, чем у П/Ц, следовательно состоит в основном из белита. $\text{C}_3\text{S} = 42 \dots 44\%$ $\text{C}_3\text{S} = 35 \dots 37\%$ $\text{C}_3\text{A} = 14 \dots 15\%$ $\text{C}_3\text{AF} < 3\%$</p>	<p>Важнейшие характеристики белого Ц – тонкость помола, степень белизны (3 сорта). М400, 500 Свойства те же, что и у П/Ц</p>	<p>Бетоны и растворы для архитектурно-отделочных работ</p>
--	--	--	--

Сырьё. Изготовление. Состав клинкера	Твердение цементного камня. Свойства добавок. Сроки схватывания	Свойства	Применение
---	---	----------	------------

5. Цветные цементы

<p>То же, что и белый П/Ц + пигменты. Допускается введение в состав клинкера до 6% белого диатомита</p> $\text{CaO} + \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ <p><i>Добавки:</i> (щёлочестойкие пигменты) кобальт – коричневый, хром – жёлто-зелёный, марганец – голубой, бархатно-чёрный</p>	<p>Содержание минеральных пигментов не больше 15%, а органических не больше 0,3; от массы цемента. Минеральные красители – охра, сажа, ультрамарин</p>	<p>Те же, что и у П/Ц</p>	<p>Ценный декоративный материал</p>
---	--	---------------------------	-------------------------------------

6. Пластифицированный портландцемент

<p>П/Ц клинкер + добавки: пластифицирующие ПАВ:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Лигносульфанаты кальция (ЛТС) 2. Сульфитно-дрожжевая бражка СДБ 3. Сульфитно-спиртовая барда ССБ <p>Дозировка 0,15 ... 0,25% по массе цемента, считая на сухое вещество</p>	<p>Повышенная подвижность и пластичность. Уменьшается расход воды → → увеличивается прочность, морозостойкость, водонепроницаемость. При сохранении В/Ц снижается расход Ц на 10 ... 15%</p>	<p>Цементы имеют повышенную пластичность и удобоукладываемость, повышенную морозостойкость (Мрз)</p>	<p>Что и обычный П/Ц, в особенности в конструкциях подвергающихся попеременному замораживанию и оттаиванию</p>
--	--	--	--

7. Гидрофобный портландцемент

<p>Получают введением гидрофобизирующих добавок. Асидол-мылонафт, олеиновая кислота, окисленный петролиум. 0,06 ... 0,3% от массы цемента в пересчёте на сухое вещество. Гидрофобные добавки являются и пластифицирующими</p>	<p>Гидрофобные добавки увеличивают воздухосодержание на 3 ... 5% (абсолютных) выше, чем П/Ц – пенообразующая способность. Лучше сохраняют свою активность при хранении</p>	<p>Пониженная гигроскопичность при хранении, повышенная подвижность и удобоукладываемость и морозостойкость. Такие цементы являются и пластифицирующими</p>	<p>Цемент покрыт плёнкой, которая сдирается только при перемешивании с заполнителями</p>
---	--	---	--

8. Портландцемент для дорожных и аэродромных покрытий

<p>Рекомендуются следующие цементы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. П/Ц 2. Пластифицирующий П/Ц 3. гидрофобный П/Ц <p>Повышенное содержание C_3S, а C_3A не более 10%</p>	<p>Начало схватывания не ранее двух часов. <i>Добавки:</i> только 15% гранулированного доменного шлака. Нельзя вводить инертные и активные добавки. М300, 400</p>	<p>Должен характеризоваться повышенной прочностью на изгиб, деформативной спо-способностью, повышенной плотностью и морозостойкостью, малой усадкой, высокой прочностью на удар, малой истираемостью</p>	<p>Для изготовления дорожных и аэродромных покрытий. Повышенная морозостойкость обеспечивается введением гидрофобных и пластифицирующих добавок</p>
--	---	--	---

Сырьё. Изготовление. Состав клинкера	Твердение цементного камня. Свойства добавок. Сроки схватывания	Свойства	Применение
9. Сульфатостойкий портландцемент			
В основном C_2S (белит) $C_3S < 50\%$, $C_3A < 5\%$, $C_3A + C_4AF < 22\%$, т.е. пониженное содержание C_3A . Отличается повышенным содержанием SiO_2 и пониженным содержанием Al_2O_3	Начало схватывания не ранее 45 мин, конец – не позднее 12 часов. Возможно введение пластифицирующих и гидрофобизирующих добавок для повышения морозостойкости	Замедленное твердение в начальные сроки и низкое тепловыделение (больше C_3A и C_3S). М300, 400. <i>Не допускается</i> введение инертных и активных минеральных добавок	Конструкции из сульфато- и морозостойкого бетона. Для бетонов, работающих в минерализованных и пресных водах. Для бетонных и ж/б конструкций наружных зон гидротехнических сооружений, систематического увлажнения (и высыхания)

10. Пуццолановый портландцемент

<p><i>Состав:</i></p> <p>1) П/Ц клинкер;</p> <p>2) активные минеральные добавки: $SiO_2 \cdot nH_2O$ Вулканические: обожжённые глины, глиежи, пемзы, туфы, топливные золы 20 ... 40% от массы Ц. Осадочные: диатомиты, трепелы опоки: 20 ... 30% от массы Ц;</p> <p>3) Гипс (до 3,5%, считая на SO_3).</p> <p><i>Для ускорения твердения увеличивают содержание C_3S и C_3A, увеличивают степень помола, количество гипса и вводят $CaCl_2$ «пуццоланы» – это все виды активных минеральных добавок</i></p>	<p><i>Твердение:</i></p> <p>1) гидратация;</p> <p>2) взаимодействие активной минеральной добавки с $Ca(OH)_2$ $Ca(OH)_2 + SiO_2 \cdot (n - 1)H_2O = CaO \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$ Гидросиликат Ca (нерастворимый). Объём увеличивается, что уплотняет бетон. $C_2S \rightarrow CS + C$ $C_2A \rightarrow C_2A + C$ <i>C повышением концентрации CaO</i></p>	<p>Водопотребность цемента с плотными и твёрдыми добавками такая же, как у П/Ц, а у Ц с пористыми добавками выше. Более водостоек, чем П/Ц. М 300, 400 <i>Недостаток:</i> пониженная воздухо- и морозостойкость, повышенная усадка. Замедленное твердение. Рекомендуется применять для внутренних частей массивных конструкций (шлюзов, плотин).</p>	<p>Сульфатостойкие бетоны. Для подводных и подземных бетонных и железобетонных сооружений <i>Не рекомендуется :</i> применять при твердении на воздухе, а также в условиях изменения температуры и влажности, т.е. при зимних бетонных работах</p>
--	--	--	--

11. Шлакопортландцемент

<p>1) П/Ц клинкер 30 ... 60%;</p> <p>2) доменный гранулированный шлак 20 ... 80% от массы готового продукта</p> <p>3) гипс до 5% 10% шлака допускается заменять: – природными гидравлическими добавками (трепел, диатомит и др.); – добавки осадочного происхождения до 10%; – до 10% активной минеральной добавкой</p>	<p>Доменные шлаки – отход производства. Отличительная особенность – способность этих шлаков к самостоятельному водному твердению. Пригоден метод пропаривания. Состав CaO, SiO_2 и Al_2O_3 90 ... 95%. При твердении образуются низкоосновные гидросиликаты $CaO \cdot SiO_2 \cdot 2,5H_2O$ и гидроалюминаты</p>	<p>Преимущества: высокая химическая стойкость и жаростойкость, пониженная водопотребность, небольшая водопроницаемость, малые объёмные деформации, морозостоек. Шлак не содержит гидратной воды. Недостаток: медленно набирает прочность в первое время твердения. М300, 400, 500. Нельзя применять для зимнего бетонирования.</p>	<p>Сульфатостойкие бетоны. Гидротехническое строительство. Конструкции, подверженные частому увлажнению и высыханию. Для приготовления строительных растворов. Для изготовления жаростойких бетонов, работающих до 700°C. Быстротвердеющий шлакопортландцемент М400, за 3 суток набирает 50% марочной прочности (20 МПа).</p>
---	---	--	---

Сырьё. Изготовление. Состав клинкера	Твердение цементного камня. Свойства добавок. Сроки схватывания	Свойства	Применение
---	---	----------	------------

12. Расширяющийся портландцемент (РЩЦ)

<p>Совместный помол:</p> <p>1) П/Ц клинкер 58 ... 63%;</p> <p>2) высокоглинозёмистые шлаки 5 ... 7%;</p> <p>3) гипс 7 ... 10%;</p> <p>4) активные гидравлические добавки 23 ... 28% или доменные гранулированные шлаки.</p> <p>Для замедления схватывания вводят буру, СДБ и др.</p>	<p>Преобладает 3CaO·Al₂O₃·3CaSO₄·31H₂O – этtringит. Способен в процессе схватывания и твердения во влажных условиях несколько увеличиваться в объёме на воздухе. Сроки схватывания: начало – не ранее 4 мин, конец – не позднее 10 мин.</p>	<p>M400, 500, 600.</p> <p>Цемент обладает высокой плотностью и водонепроницаемостью. Бетоны на таком цементе морозо- и коррозионностойки, при пропаривании интенсивно набирают свою прочность</p>	<p>В конструкциях, где недопустимы усадочные деформации и нарушения монолитности.</p> <p>Для заделки стыков в водонепроницаемых конструкциях.</p> <p>Применяется в изделиях с тепловлажностной обработкой</p>
--	---	---	---

13. Напрягающийся цемент

<p>Тонкий совместный помол:</p> <p>1) П/Ц клинкер 65 ... 70%;</p> <p>2) глинозёмистый шлак 16 ... 20% (глинозёмистый цемент);</p> <p>3) гипсовый камень ≈ 20%</p> <p>1) : 2) : 3) – 70 : 15 : 15 (%)</p>	<p>Раствор из него, расширяясь до 2,5% во время вызывает напряжение (напряжение) арматуры ж/б конструкций.</p> <p>Смесь цемента с песком подвергают частичной гидротаций, т.е. предварительно увлажняют небольшим количеством воды и перемешивают.</p> <p>Сроки схватывания: Начало – не ранее 30 мин, Конец – не позднее 8ч</p>	<p>Быстротвердеющий и быстросхватывающийся цемент.</p> <p>Этtringит, образующийся при начальном твердении 1 – 3 сут. Вызывает равномерное расширение цементной системы, так как цементный камень не успел превратиться в прочное хрупкое тело и обладает пластическими деформациями.</p> <p><i>Преимущества:</i> безусадочность, высокая плотность, водо- и газонепроницаемость</p>	<p>Монолитные и сборные ж/б конструкции, в которых арматура получает предварительное напряжение благодаря расширению бетона.</p> <p>При этом арматура натягивается и бетон обжимается без нарушения сцепления между ними, т.е. самонапряженные конструкции.</p> <p>В производстве бетонных труб полы промышленных зданий.</p> <p>Покрытия аэродромов</p>
--	--	---	--

14. Романцемент

<p>Тонкий помол обожжённых не до спекания и доломитизированных мергелей, содержащих не менее 25% глинистых примесей.</p> <p>Для регулирования свойств в романцемент вводят активные минеральные добавки и гипс.</p> <p>$m = 1,1 \dots 1,7$ гидравлический модуль</p>	<p>В романцементе вся окись кальция должна быть связана в силикаты, алюминаты и ферриты кальция.</p> <p>Сроки схватывания: начало – не ранее 15 мин, в сухих условиях их стойкость ниже, чем у растворов и бетонов на гидравлической извести конец – не позднее 24 ч</p>	<p>Медленнотвердеющее вяжущее.</p> <p>M25, 50, 100, 150.</p> <p>Через 7 суток предел прочности вдвое меньше, чем у П/Ц.</p> <p>Отличается от гидравлической извести большей стойкостью во влажных условиях и при переменном увлажнении и высушивании.</p>	<p>Для изготовления бетонов низких марок и растворов, для штукатурных работ. Для производства стеновых камней и мелких блоков, особенно с применением термообработки паром. Не допускается применение для изготовления ж/б изделий и конструкций</p>
---	--	---	--

Сырьё. Изготовление. Состав клинкера	Твердение цементного камня. Свойства добавок. Сроки схватывания	Свойства	Применение
15. Глиноземистый цемент			
Известняк до 45%, боксит (глинозем) – 55% (до 80 ... 85% Al_2O_3), в основном алюминаты Ca. Глиноземистый цемент в основном состоит из: $CaO \cdot Al_2O_3$, а также $CaO \cdot 2Al_2O_3$, $MgO \cdot Al_2O_3$ – шпинель, не гидратируется и не твердеет $2CaO \cdot SiO_2$. Аллюмосиликат кальция $2CaO \cdot SiO_2 \cdot Al_2O_3$ (геленит), $6CaO \cdot 2Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$. <i>Талюм</i> – разновидность глиноземистого цемента, полученного спеканием сырьевой массы с высоким содержанием оксида Al	$2(CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10H_2O)$ – глиноземистый цемент $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 8H_2O + Al(OH)_3$ + + $9H_2O$. И далее реакция протекает очень быстро. Освободившаяся вода вступает во взаимодействие с непрореагировавшими частицами цемента, что вызывает выделение новых кристаллов гидроалюмината кальция и геля глинозёма. Количество связанной воды составляет 30 ... 45% от массы Ц, что значительно больше, чем у П/Ц. Сроки схватывания: начало – не ранее 30 мин, конец – не позднее 12 ч. В присутствии щёлочи цемент разрушается, поэтому его нельзя смешивать с П/Ц. тепловыделение в 1,5 раза больше, чем у портландцемента	Быстротвердеющее и высокопрочное вяжущие. Алюминаты Ca придают цементу способность приобретать высокую прочность в очень короткие сроки (12 ... 24 ч). За 1-е сутки – 90% марочной прочности, за 3 суток – 100% $R_{28ц}$. марку определяют на 1 и 3 сутки. М400, 500, 600. Пористость меньше, чем у П/Ц, плотность больше, не выделяет $Ca(OH)_2$ → повышенная стойкость в пресной и сульфатной воде. Глиноземистый цемент используется для получения расширяющихся цементов	В аварийных работах, для тампонирования трещин, для изготовления жароупорного бетона (футеровочного бетона). Нельзя применять во влажных условиях при температуре больше $25^\circ C$, изделия на этом цементе нельзя пропаривать. <i>Талюм</i> применяют для приготовления огнеупорных растворов и бетонов, стойких к действию температуры до $1800^\circ C$. <i>Недостаток</i> : высокая стоимость, отсутствие нарастания прочности в отдалённые сроки твердения и даже возможно снижение прочности на 50 ... 60% в возрасте 15 – 20 лет
16. Водонепроницаемый цемент			
Помол и смешивание: 1) глиноземистого цемента; 2) природного гипса; 3) высокоосновного алюмината Ca	Сроки схватывания: начало – не ранее 4 мин, конец – не позднее 10 мин	Быстротвердеющее и быстротвердеющие вяжущие. М500. Прочность через 6 ч ≈ 70 кг/см ²	Для гидроизоляции и герметизации стыков элементов конструкции в подземном и подводном строительстве, при восстановительных работах
17. Фосфатные цементы			
Получают затворением порошков оксидов, гидроксидов, солей сильных кислот или порошков стекол фосфорной кислотой	Взаимодействие фосфорной кислоты с порошком цемента может протекать иногда очень бурно, что мешает формированию камня. Поэтому подбирают тип реакции, обеспечивающий спокойный характер взаимодействия Me, MeO, $Me(OH)_2$ и солей кислот	Полученный камень имеет высокую прочность, жаростойкость, высокие тепловые и электрические свойства. Цементная паста обладает высокой адгезией к металлам, керамике, стеклу	

Сырьё. Изготовление. Состав клинкера	Твердение цементного камня. Свойства добавок. Сроки схватывания	Свойства	Применение
18. Гидравлическая известь			
<p>Мергелистые известняки, т.е. известняки, находящиеся в тесной смеси с 6 ... 25% глины. В П/Ц глины ≈ 25%</p> $m = \frac{\% \text{CaO}}{\%(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)}$ <p>Гидравлический модуль, если $m = 1,7 \dots 4,5$ – сильногидравлическая известь</p>	<p>Обжигаемый материал не доводят до спекания, т.е. в нём нет жидкой фазы. При температуре 1000 ... 1100°C образуются: $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ и $2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, так как в исходном сырьё присутствуют соединения железа. Чем меньше количество свободной окиси кальция, тем быстрее она твердеет и тем выше её прочность</p>	<p>По прочности и степени гидравлическости значительно уступает П/Ц. Прочность слабогидравлической извести низкая, на 28 сутки не менее 17 кгс/см². сильногидравлическая известь достигает прочности 50 ... 100 кгс/см²</p>	<p>Для приготовления кладочных растворов, бетонов низких марок</p>
19. Тампонажный П/Ц			
<p>Цемент с повышенным содержанием C_3S и пониженным содержанием C_3A (< 6%) для замедления схватывания</p>	<p>В пространство между обсадной трубой и породой нагнетают цементный раствор без песка с большим количеством воды 40 ... 60%. Температура в скважине 40 ... 110°C. Сроки схватывания: начало – не ранее 1 ч 45 мин, конец – не позднее 4 ч 30 мин</p>	<p>40 ... 60% воды замедляет схватывание и снижает прочность бетона</p>	<p>Предназначен только для тампонирувания (цементирования) нефтяных и газовых скважин, которые необходимо для изоляции их от грунтовых вод</p>
20. Гипсоглиноземистый цемент			
<p>Совместный помол высокоглиноземистых доменных шлаков и гипса</p>	<p>Быстротвердеющее вяжущее. Обладает свойством расширения, при твердении в воде, при твердении на воздухе он проявляет безусадочные свойства</p>	<p>M300, 400, 500, которую определяют на 3 сутки. <i>Недостаток:</i> нельзя использовать в конструкциях, работающих при температуре больше 80°C</p>	<p>1) Для безусадочных и расширяющих водонепроницаемых растворов и бетонов. 2) Для заделки и стыков, засечки швов и раструбов. 3) Для замоноличивания сборных конструкций и т.д.</p>
21. Гипсоглиноземистый цемент расширяющийся цемент			
<p>Помол: 1) 70% высокоглиноземистого шлака; 2) 30% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$</p>	<p>Твердение обусловлено образованием этtringита. Сроки схватывания: Начало – не ранее 20 мин, конец – не позднее 4 ч</p>	<p>Быстротвердеющий M400, 500.</p>	<p>1) Для безусадочных и расширяющихся водонепроницаемых растворов и бетонов. 2) Для заделки стыков, зачеканки швов и раструбов. 3) Для замоноличивания сборных конструкций и т.д.</p>

Сырьё. Изготовление. Состав клинкера	Твердение цементного камня. Свойства добавок. Сроки схватывания	Свойства	Применение
22. Известково-шлаковый цемент. Вяжущее автоклавного твердения			
Совместный помол: 1) доменных гранулированных шлаков; 2) воздушной гашённой известью 10 ... 30% и гипсом до 5%	Шлак – низкоосновные алюминаты и силикаты способствуют гидратации и образованию высокоосновных гидроалюминатов и гидросиликатов Са. Гипс взаимодействует с С ₃ А, образуя эттрингит. Сроки схватывания: начало – не ранее 1,5 ... 4 ч, конец – не позднее 4 ... 8 ч. Основные доменные шлаки в отличие от кислых могут медленно затвердевать без добавления извести	Медленно схватывается и твердеет. Стойкий в пресной и сульфатной воде. М50, 100, 150, 200. Прочность повышается при использовании основных шлаков М ₀ > 1. При применении высококачественных шлаков, извести-кипелки и при более тонком помоле может иметь марки 250 и 300	В бетонах низких марок, в строительных растворах, в изделиях с тепловлажностной обработкой
23. Известково-пуццолановый цемент. Вяжущее автоклавного твердения			
Совместный помол: 1) 10 ... 20% П/Ц; 2) 15 ... 30% иногда до 50% и более – воздушная известь; 3) 30 ... 70% активная минеральная добавка; 4) гипс (до 5%)	$mCaO + SiO_2 \cdot nH_2O$ – активный кремнезём $mCaO + SiO_2 \cdot nH_2O$ – обладает гидравлическими свойствами. Схватывание: начало – не ранее 5 ... 8 ч, конец – не позднее 20 ... 30 ч	М25, 50, 100, 150. Недостаточно морозостойки. Образующиеся низкоосновные гидросиликаты Са на воздухе в сухих условиях иногда способны выветриваться и дегидратироваться	В бетонах низких марок, для подводных и подземных сооружений, в изделиях с тепловлажностной обработкой. <i>Не рекомендуется</i> использовать при пониженных температурах, при изменении морозостойкости и влажности
Вяжущее автоклавного твердения			
24. Нефелиновый цемент			
Совместный тонкий помол высушенного нефелинового (белитого) шлама 85%, извести 15%, гипса 5%	Твердение при автоклавной обработке при 9 атмосферах в течение 8 ч	$R_{сж} - 200 \dots 400 \text{ кг/см}^2$; $R_{изг} - 50 \dots 60 \text{ кг/см}^2$. Нефелин содержит 25 ... 30% и 50 ... 55% СаО	Для изготовления изделий с автоклавной обработкой
25. Кислотоупорные цементы			
Смесь кварцевого песка и кремнефтористого натрия затворяют водным раствором силиката Na и К	$Na_2SiF_6 + 6H_2O + 2Na_2SiO_3 = 6NaF + 3Si(OH)_4$ Гель кремнекислоты является клеящим продуктом	Устойчивы в большинстве органических и минеральных кислот	Для изготовления кислотоупорной замазки. Для растворов и бетонов

4.4. Характеристика цементов

Классификационные признаки		Область применения			
		рекомендуемая	не рекомендуемая		
Вещественный состав	На основе поргланцементного клинкера	Портландцемент: Портландцемент с минеральными добавками	Монолитные и сборные бетонные и железобетонные конструкции	Блоки и конструкции со специальными свойствами	
		Шлакопортландцемент	Монолитные массивные бетонные и железобетонные надземные, подземные и подводные конструкции при действии пресных и минеральных вод	Морозостойкие бетоны. Мрз более 200: тяжелые бетоны, твердеющие при температуре +10°C без обогрева: конструкции	
		Пуццолановый портландцемент	Подземные и подводные монолитные и сварные бетонные и железобетонные конструкции при действии мягких	Морозостойкие бетоны: при твердении бетона в сухих условиях; конструкции, испытывающие	
	На основе глиноземистого клинкера	Глиноземистый	Быстротвердеющие бетоны: аварийно-ремонтные работы, для жаростойких бетонов, для работы в условиях сернистой агрессии	Массивные конструкции: при твердении бетона при температуре более 25°C	
		Высокоглиноземистые	Жаростойкие бетоны	–	
		Гипсоглиноземистые	Безусадочные и расширяющиеся водонепроницаемые бетоны, гидроизоляционные	Строительные работы при температуре менее 0°C без обогрева: конструкции,	
	Прочность при твердении	Классы	Высокопрочные В40, В45 и выше	Бетоны В40 и более	Бетоны менее В30
			Повышенной прочности В40	Бетоны В30, В35, а также В22,5 и В25 при повышенной отпускной прочности	Бетоны классов менее В15 и строительные растворы
			Рядовые: В30	Бетоны В15, В25 при повышенной отпускной прочности	Бетоны В30 и более
В25			Бетоны В12,5: строительные растворы	Бетоны более В20	
Пониженной прочности (ниже В25)			Бетоны В7,5 и менее: строительные растворы	Бетоны более В7,5	

Классификационные признаки			Область применения	
			рекомендуемая	не рекомендуемая
Специальные свойства	Скорости твердения	Обычные	Все виды строительных работ, где не предъявляются особые требования к скорости твердения бетона и раствора	Бетоны, растворы и изделия с укороченным циклом твердения
		Быстротвердеющие	Монолитные конструкции, где требуется ускорение твердения бетона, и сборные конструкции с повышенной отпускной прочностью	Строительные растворы
		Особо-быстротвердеющие	Аварийно-восстановительные работы: бетоны, к которым предъявляют высокие требования к скорости начального твердения	Монолитные бетоны и сборные железобетонные конструкции с применением пропаривания по обычным режимам
	Сроки схватывания	Медленно-схватывающиеся (начало схватывания более 1ч 30 мин)	Бетоны, растворы и изделия с длительным циклом формирования, транспортирования и укладки	Бетоны, растворы и изделия с нормальным и ускоренным циклом укладки и формирования
		Нормально-схватывающиеся (начало схватывания 45 мин ... 1ч 30мин)	Все виды строительномонтажных работ, где не предъявляются особые требования по срокам схватывания	Бетоны, растворы и изделия с замедленным или укороченным циклом укладки и формирования
		Быстро-схватывающиеся (начало схватывания менее 45 мин)	Бетоны, растворы и изделия с укороченным циклом укладки и формирования	Бетоны, растворы и изделия с нормальным и замедленным циклом укладки и
Специальные свойства	Сульфатостойкость	Сульфатостойкий портландцемент и сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками	Конструкции из сульфато- и морозостойкого бетона	Обычные бетоны, к которым не предъявляют требования по морозостойкости и сульфатостойкости
		Сульфатостойкие шлакопортландцемент и пуцолановый портландцемент	Сульфатостойкие бетоны	Морозостойкий бетон и бетон, испытывающий попеременное увлажнение и высушивание без специальных мер
Объемная деформация при твердении	Безусадочные	Бетоны, используемые для замоноличивания стыков	Обычные бетоны	
	Расширяющиеся	То же, стыков в водонепроницаемых конструкциях		
	Напрягающие	Самонапряженные конструкции		
Тепловыделение	Низкотермичные	Низкотермичные бетоны		
	Умереннотермичные	Умереннотермичные бетоны		
Декоративные свойства	Белые и цветные	Бетоны и растворы для архитектурно-отделочных работ		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Развитие многопараметрического проектирования составов бетона требует разработки необходимой теоретической базы, позволяющей на основе объективных физических закономерностей модифицировать известные и разрабатывать новые алгоритмы для нахождения оптимальных соотношений компонентов и других параметров, обеспечивающих комплекс необходимых свойств бетонов. Представленные в данном пособии методики расчёта составов бетона, после приготовления пробных замесов, могут корректироваться в допустимых рамках.

РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ

Бетоны. Классификация и общие технические требования 25192–82.

Бетоны. Правила подбора состава 27006–86.

Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия 26633–91.

Бетоны лёгкие. Технические условия 25820–83.

Бетоны ячеистые. Технические условия 25485–89.

Добавки для бетонов. Общие технические требования 24211–91.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микульский, В.Г. Строительные материалы : учебник / В.Г. Микульский. – М. : Изд-во АСВ, 2004. – 488 с.
2. Горчаков, Г.И. Строительные материалы : учеб. для вузов. / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов. – М. : Стройиздат, 1986. – 688 с.
3. Воробьев, В.А. Строительные материалы : учебник / В.А. Воробьев, А.Г. Комар. – М. : Стройиздат, 1976. – 478 с.
4. Комар, А.Г. Строительные материалы : учебник. / А.Г. Комар. – М. : Стройиздат, 1983.
5. Рыбьев, И.А. Общий курс строительных материалов : учебник / И.А. Рыбьев. – М. : Высш. шк., 1987. – 583 с.
6. Борщевский, А.А., Ильин А.С. Механическое оборудование для производства строительных материалов и изделий : учебник / А.А. Борщевский, А.С. Ильин. – М. : Высш. шк., 1987. – 367 с.
7. Домокеев, А.Г. Строительные материалы / А.Г. Домокеев. – М. : Высш. шк., 1989. – 494 с.
8. Синяков, В.К. Строительные материалы и работы / В.К. Синяков. – М. : Стройиздат, 1986. – 431 с.
9. Строительные материалы : справочник / под ред. А.С. Болдырева, П.П. Золотова. – М. : Стройиздат, 1989.
10. Попов, Л.Н. Строительные материалы и изделия : учебник / Л.Н. Попов, Н.Л. Попов. – М. : ГУПЦПП, 2000. – 384 с.
11. Комар, А.Г. Строительные материалы и изделия / А.Г. Комар. – М. : Высш. шк, 1988. – 527 с.
12. Айрапетов, Д.П. Архитектурное материаловедение : учебник / Д.П. Айрапетов. – М. : Стройиздат, 1983. – 310 с.
13. Кропотов, В.Н. Строительные материалы : учебник для специальности «Архитектура» / В.Н. Кропотов. – М. : Высш. шк, 1973. – 381 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЁЛОГО БЕТОНА	4
1.1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ.....	5
1.2. РАСЧЁТ РАСХОДА МАТЕРИАЛОВ НА 1 м ³ БЕТОНА.....	7
1.2.1. Определение расхода воды.....	8
1.2.2. Определение расхода цемента.....	10
1.2.3. Определение расхода заполнителей.....	10
1.2.4. Номинальный (лабораторный) состав бетона по массе и по объёму.....	12
1.2.5. Рабочий состав бетона по массе и по объёму.....	13
1.2.6. Коэффициент выхода бетона и дозировка материалов (в рабочем состоянии) на замес бетономешалки.....	13
1.2.7. Температура подогрева заполнителей.....	14
1.2.8. Пористость бетона.....	15
1.2.9. Определение расхода клинкерной добавки.....	16
1.2.10. Случай, если заданная марка бетона должна быть достигнута в другой срок, ранее или позже 28 суток.....	17
1.3. ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ ПО РАСЧЁТУ СОСТАВА БЕТОНА.....	19
2. ЛЁГКИЕ БЕТОНЫ	24
2.1. БЕТОН НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ.....	24
2.1.1. Материалы для изготовления лёгкого бетона.....	24
2.1.2. Технические требования к пористым заполнителям.....	25
2.1.3. Структура и свойства лёгкого бетона.....	28
2.2. КРУПНОПОРИСТЫЙ БЕТОН.....	30
2.3. ГАЗОБЕТОН.....	30
2.4. ПЕНОБЕТОН.....	31
2.5. КЕРАМЗИТОБЕТОН.....	32
2.6. ЗАДАЧИ.....	37
3. СИЛИКАТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	49
3.1. СИЛИКАТНЫЙ КИРПИЧ.....	49
3.1.1. Требования к извести.....	49
3.1.2. Физико-химические процессы твердения силикатного кирпича.....	49
3.1.3. Характеристики силикатного кирпича по ГОСТ 379–95.....	51
3.2. СИЛИКАТНЫЙ БЕТОН.....	55
3.3. ЗАДАЧИ.....	59
4. ЦЕМЕНТЫ	68
4.1. ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ.....	68
4.1.1. Процессы в печи при обжиге портландцемента.....	68
4.1.2. Твердение портландцемента.....	70
4.1.3. Физические и механические свойства цемента.....	72
4.2. ЦЕМЕНТНЫЙ КАМЕНЬ.....	73
4.2.1. Состав цементного камня.....	73
4.2.2. Коррозия цементного камня.....	73
4.2.3. Меры борьбы с коррозией.....	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	93
РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ	93
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	94