

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

# ТЕХНОЛОГИЯ ЛЕГКИХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ БЕТОНОВ

Методические указания к курсовой работе

*Составители П.Э. Соколов, С.В. Медведько, Т.К. Акчурин*



© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный  
архитектурно-строительный университет», 2014

Волгоград  
ВолгГАСУ  
2014

УДК 666.973/974(076.5)  
ББК 38.331.6я73  
Т 384

**Технология** легких и специальных бетонов [Электронный ресурс] : методические указания к курсовой работе / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т ; сост. П.Э. Соколов, С.В. Медведько, Т.К. Акчурин. — Электронные текстовые и графические данные (418 Кбайт). — Волгоград : ВолгГАСУ, 2014. — Учебное электронное издание комбинированного распространения : 1 CD-диск. — Систем. требования: PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; 2-скоростной дисковод CD-ROM; Adobe Reader 6.0. — Официальный сайт Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Режим доступа: <http://www.vgasu.ru/publishing/on-line/> — Загл. с титул. экрана.

Приведен порядок выполнения курсового проекта для студентов заочной и очной формы обучения. Содержится описание состава проекта и отдельных задач, список рекомендуемой литературы и приложения с необходимыми для расчетов нормативными и справочными данными.

УДК 666.973/974(076.5)  
ББК 38.331.6я73

Цель курсовой работы — изучить нормативные требования и освоить методику технологических расчетов, связанных с проектированием состава легких бетонных смесей, оценкой качества легкого бетона и повышением эффективности железобетонных изделий.

Расчетно-пояснительная записка курсовой работы должна состоять из следующих разделов:

- введения;
- описания технологии производства легкобетонных смесей;
- расчета состава легкого бетона;
- пересчета состава легкого бетона;
- технологического расчета бетоносмесительного отделения (БСО);
- статистического контроля прочности бетона.

Она должна содержать решение всех задач, предусмотренных заданием. Вычисления и расчеты в записке должны сопровождаться необходимыми пояснениями и ссылками на соответствующие нормативные документы и литературные источники. Ответы на отдельные задачи необходимо проиллюстрировать рисунками и графиками.

Выполненная курсовая работа представляется на кафедру для защиты.

## **1. РАСЧЕТ СОСТАВА ЛЕГКОГО БЕТОНА**

### **1.1. Конструкционно-теплоизоляционный легкий бетон**

Определение состава легкого бетона, отвечающего технологическим требованиям, техническим и экономическим условиям, состоит из расчета предварительных составов и экспериментального уточнения соотношения компонентов. В отдельных случаях при прогнозировании, разработке проектов, технико-экономических изысканиях состав бетона определяют только расчетом.

В данном разделе курсовой работы необходимо рассчитать производственный состав легкого бетона. Расчеты рекомендуется выполнять в порядке постановки отдельных задач. Рациональный вид цемента для легкого бетона с учетом назначения заданного изделия и условий эксплуатации устанавливают на основании ГОСТ 23464 и рекомендаций [1, 2, 3].

Истинную и насыпную плотность вяжущего вещества принимают: для портландцемента в пределах: истинная — 3,0...3,2, насыпная — 1,1...1,2 кг/дм<sup>3</sup>; для шлакопортландцемента и пуццоланового цемента: истинная — 2,7...2,9, насыпная — 0,9...1,1 кг/дм<sup>3</sup>.

Качество зернового состава заполнителей оценивается по ГОСТ 9757 и [4]. В пояснительной записке вычерчивают графики рекомендуемых зерновых составов заполнителей, на которые наносят кривые просеивания по заданию. По зерновому составу пористый песок делят на три группы в зависимости от назначения:

- 1-я — для теплоизоляционного бетона;
- 2-я — конструкционно-теплоизоляционного;

3-я — конструкционного.

Зерновой состав отдельных групп пористого песка должен соответствовать показателям, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

**Требования к зерновому составу пористого песка**

Размер отверстий контрольных сит, мм	Массовая доля полного остатка на контрольных ситах, %, для групп песка		Размер отверстий контрольных сит, мм	Массовая доля полного остатка на контрольных ситах, %, для групп песка	
	2-й	3-й		2-й	3-й
5	0...10	0...10	0,63	30...70	40...65
2,5	10...40	15...35	0,315	45...80	65...90
1,25	20...60	30...50	0,14	70...90	90...100

Удобоукладываемость бетонной смеси, необходимая при заданном способе формования изделий, принимается по табл. 2.

Таблица 2

**Требования к подвижности и жесткости бетонной смеси**

Способ формования изделий	Жесткость, с, по ГОСТ 10181.1	Подвижность, см
1	2	3
Вibroштампование стационарное	31...40	—
Вибронасадком или скользящим виброштампом	21...30	—
То же, при значительном общем или местном насыщении арматурой	5...10	—
С немедленной и частичной распалубкой элементов изделий высотой до 1,2 м	21...30	—
В передвижных формах на виброплощадках	5...10	—
То же, с пригрузом	21...30	—
В формах с навесными вибраторами или вибровалами при высоте бетонирования до 0,8 м	1...4	—
То же, при высоте бетонирования более 0,8 м	—	3...4
На стендах с поверхностями или глубинной вибрацией	—	2...4
То же, при значительном общем или местном насыщении арматурой	—	4...6
В вертикальных кассетных формах при толщине изделия более 140 мм	—	3...5
То же, при толщине изделия 100...120 мм	—	5...9
То же, при толщине менее 200 мм	—	10...15
На центробежных станках	—	5...6

Типовая норма расхода цемента для легкого керамзитобетона устанавливается умножением табличных норм на все коэффициенты и не должны превышать 600 кг/м<sup>3</sup>. Типовые нормы расхода цемента для легких бетонов

сборных бетонных и железобетонных изделий и конструкций массового производства (СНиП 5.01.23) приведены в табл. 3—5.

Таблица 3

**Конструкционно-теплоизоляционный легкий бетон на гравиеподобных пористых заполнителях [3]**

Марка бетона по средней плотности	Расход цемента марки 400, кг/м <sup>3</sup> , в зависимости от проектного класса бетона			Марка бетона по средней плотности	Расход цемента марки 400, кг/м <sup>3</sup> , в зависимости от проектного класса бетона		
	B3,5	B5,0	B7,5		B3,5	B5,0	B7,5
Пл 700	250	—	—	Пл 1100	200	215	240
Пл 800	230	260	—	Пл 1200	—	210	225
Пл 900	220	240	280	Пл 1300	—	—	215
Пл 1000	210	225	260	Пл 1400	—	—	210

Таблица 4

**Конструкционно-теплоизоляционный легкий бетон на щебнеподобных пористых заполнителях**

Марка бетона по средней плотности	Расход цемента марки 400, кг/м <sup>3</sup> , в зависимости от проектного класса бетона			Марка бетона по средней плотности	Расход цемента марки 400, кг/м <sup>3</sup> , в зависимости от проектного класса бетона		
	B3,5	B5,0	B7,5		B3,5	B5,0	B7,5
Пл 800	285	—	—	Пл 1300	225	250	280
Пл 900	265	320	—	Пл 1400	220	240	265
Пл 1000	250	295	360	Пл 1500	215	230	255
Пл 1100	240	275	330	Пл 1600	—	220	245
Пл 1200	230	260	305	Пл 1700	—	—	235

Таблица 5

**Конструкционный легкий бетон отпускной прочностью 70 % класса**

Класс бетона	Удобоукладываемость бетонной смеси		Расход цемента, кг/м <sup>3</sup> , марки				
	Осадка конуса, см	Жесткость, с	300	400	500	550	600
B10	5...9	—	340	300	265	—	—
	1...4	—	310	275	245	—	—
	—	5...10	295	260	230	—	—
	—	11...20	275	245	215	—	—
B15	5...9	—	425	370	325	—	—
	1...4	—	390	340	300	—	—
	—	5...10	370	320	285	—	—
	—	11...20	345	300	255	—	—
B17,5	5...9	—	—	425	380	355	—
	1...4	—	—	400	350	330	—
	—	5...10	—	370	330	310	—
	—	11...20	—	340	305	285	—
B22,5	5...9	—	—	500	420	390	375
	1...4	—	—	465	385	360	340
	—	5...10	—	430	365	340	325
	—	11...20	—	395	335	315	300

В25	5...9	—	—	—	440	420	400
	1...4	—	—	—	410	390	370
	—	5...10	—	—	385	365	340
	—	11...20	—	—	355	335	315
В30	5...9	—	—	—	490	455	415
	1...4	—	—	—	455	420	390
	—	5...10	—	—	430	400	375
	—	11...20	—	—	400	370	345
В35	5...9	—	—	—	580	530	475
	1...4	—	—	—	550	500	440
	—	5...10	—	—	510	460	415
	—	11...20	—	—	480	425	380
В40	1...4	—	—	—	—	600	560
	—	5...10	—	—	—	550	510
	—	11...20	—	—	—	520	480

При подборе составов легких бетонов плотной структуры общий расход заполнителей (мелкого и крупного) определяют следующим образом, кг/м<sup>3</sup>:

$$Z = \rho - 1,15Ц,$$

где  $\rho$  - требуемая плотность сухого бетона, кг/м<sup>3</sup>; Ц – расход цемента, кг/м<sup>3</sup>.

Ориентировочный расход мелкого и крупного заполнителей определяют по табл. 6.

Таблица 6

**Общий расход мелкого и крупного заполнителей**

Бетон	Расход цемента, кг	Суммарный расход мелкого и крупного заполнителей	Предельная крупность заполнителя, мм	Содержание песка в смеси заполнителей, % объема, при использовании	
				пористого гравия	пористого щебня
Теплоизоляционный	До 175	1,45	40	20...25	25...35
			20	25...30	30...40
Конструкционно-теплоизоляционный	175...250	1,55	40	35...45	40...50
			20	40...50	45...55
			10	45...55	50...60
Конструкционный	250...400	1,6	20	40...50	45...55
			10	50...60	55...65

Расход воды для легкого бетона заданной удобоукладываемости первого и второго замеса определяют по табл. 7, а для последующих — подбором водосодержания на опытных замесах.

Таблица 7

**Ориентировочный расход воды для легкобетонной смеси на керамзитовом гравии**

Осадка конуса или жесткость	Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при насыпной плотности керамзитового гравия, кг/м <sup>3</sup> , на песке					
	кварцевом			керамзитовом		
	300	500	700	300	500	700
1	2	3	4	5	6	7

40...50 с	175...190	165...180	155...170	210...225	200...215	180...190
30...35 с	185...200	175...190	165...180	225...240	215...235	190...205
15...25 с	195...210	185...200	175...190	250...270	240...260	205...225
7...14 с	205...220	195...210	185...200	275...300	265...290	230...250
3...5 см	215...230	205...220	195...210	300...325	290...315	255...280
6...8 см	225...240	215...230	205...220	325...350	315...340	270...305
9...12 см	235...250	225...240	215...230	350...375	340...365	295...330

После определения ориентировочного состава легкого бетона плотной структуры рассчитывают расход материалов на пробный лабораторный замес 10...15 л. Для таких замесов в сухую смесь материалов подают воду в количестве на 15 % меньше указанного в приведенных выше таблицах. Затем смесь тщательно перемешивают в смесителе и определяют ее удобоукладываемость. При достижении заданной удобоукладываемости из смеси готовят контрольные образцы и определяют фактическую плотность смеси, сравнивая ее с теоретической, рассчитываемой по формуле

$$\rho_r = \rho_c + (B - 1,15C),$$

где  $\rho_c$  — заданная плотность сухого бетона, кг/м<sup>3</sup>; В и С — расход соответственно воды и цемента, кг, на 1 м<sup>3</sup> бетона.

$$C = \frac{C_1}{\sum m} \rho_\phi;$$

$$B = \frac{B_1}{\sum m} \rho_\phi;$$

$C_1$  и  $B_1$  — расход соответственно воды и цемента на данный лабораторный замес;  $\sum m$  — суммарный расход материалов (включая воду) на данный замес, кг;  $\rho_\phi$  — фактическая плотность уплотненной бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

Определяют расход заполнителей:

$$Щ = \frac{Щ_1}{\sum m} \rho_\phi;$$

$$П = \frac{П_1}{\sum m} \rho_\phi,$$

где  $Щ_1$  и  $П_1$  — расходы соответственно крупного и мелкого заполнителей на один лабораторный замес, кг.

Уточняют состав легкого бетона при наименьшем расходе цемента, изготавливая контрольные образцы из замесов нескольких серий, которые отличаются от основного расхода цемента (на  $\pm 10\%$ ) и мелкого заполнителя (на  $\pm 15\%$ ), а также добиваются для каждого из этих составов оптимального водосодержания.

Испытывают образцы и окончательно выбирают состав бетона на основании полученных физико-механических характеристик и расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона.

Проверка правильности подбора составов и расчетов:

$$\frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\text{П}}{\rho_{\text{п}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{щ}}} + \text{В} = 1000;$$

$$\rho_{\text{с}} = \text{П} + \text{Щ} + 1,15\text{Ц},$$

где  $\rho_{\text{ц}}$ ,  $\rho_{\text{п}}$ ,  $\rho_{\text{щ}}$  — соответственно плотность цемента, песка и щебня (гравия).

При подборе состава бетона неплотной структуры учитывают межзерновую пористость и уменьшают расход мелкого заполнителя и воды, а в некоторых случаях и цемента.

Удобоукладываемость смеси неплотных бетонов учитывают лишь для  $r = 0,5V_{\text{пуст}}$ ; при изготовлении бетонов с  $r < 0,5V_{\text{пуст}}$  определяют только нерасслаиваемость смеси.

В расчетно-пояснительной записке приводится основной состав бетона в виде расхода составляющих на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси, а также соотношение исходных материалов:

по массе —  $1 : x : y : z$ , где  $x = \text{П}/\text{Ц}$ ,  $y = \text{Щ}/\text{Ц}$ ,  $z = \text{В}/\text{Ц}$ ;

по объему —  $1 : x' : y'$  при  $\text{В}/\text{Ц} = \dots$ , где  $x' = V_{\text{п}}/V_{\text{ц}}$ ,  $y' = V_{\text{щ}}/V_{\text{ц}}$ ,

здесь  $V_{\text{ц}}$ ,  $V_{\text{п}}$ ,  $V_{\text{щ}}$  — объемы цемента, песка и щебня в сухом состоянии, л/м<sup>3</sup>.

Коэффициент выхода бетона для расчета дозировки материалов на замес определяют по формуле

$$\beta = \frac{1000}{V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}}.$$

Количество дозируемого материала, например цемента, на замес бетоносмесителя рассчитывается по формуле

$$\text{Ц}' = \frac{(\text{Ц}\beta V_{\text{см}})}{1000},$$

где  $V_{\text{см}}$  — объем смесителя по загрузке, л.

Прочность бетона в определенном возрасте  $n$  допускается рассчитывать по формуле

$$R_n = R_m \frac{\lg n}{\lg m},$$

где  $n$ ,  $m$  — возраст бетона в сутках (до 365, но не менее 3) при твердении его в нормальных условиях.

Перерасчет состава бетона выполняются с целью установить, как изменение производственного фактора влияет на техническую и экономическую эффективность состава бетона.

В работе в зависимости от характера изменяемого фактора определяют новое водосодержание (при изменении удобоукладываемости смеси или вида заполнителя) и новое цементно-водное отношение (при изменении активности цемента или требуемой прочности бетона). На основании новых данных  $\text{В}'$  или  $(\text{Ц}/\text{В})'$  находят новый требуемый расход цемента.



$$\text{Ц}' = \text{В}' \left( \frac{\text{Ц}}{\text{В}} \right) \text{ или } \text{Ц}' = \text{В} \left( \frac{\text{Ц}}{\text{В}} \right)'.$$

Полученное значение сравнивают с расчетным расходом цемента и определяют изменение технической эффективности состава бетона:

$$\Delta \text{Ц} = \text{Ц} - \text{Ц}'.$$

Аналогично поступают при оценке экономичности состава бетона. При определении стоимости бетонной смеси изменениями в расходах песка и крупного заполнителя можно пренебречь. Тогда изменение стоимости бетонной смеси определяется расчетом по формуле

$$C_6 = \text{Ц} C_{\text{ц}} - \text{Ц}' C_{\text{ц}}',$$

где  $C_{\text{ц}}$  и  $C_6$  — стоимости расчетной единицы цемента в сравниваемых вариантах.

## 1.2. Конструкционный легкий бетон

Поскольку средняя плотность бетона зависит от свойств и содержания пористого заполнителя, при проектировании состава из условия получения требуемой средней плотности определяют расходы мелкого и крупного заполнителей. При заданном расходе цемента и воды, которые определяются требуемой прочностью бетона и удобоукладываемостью бетонной смеси, расходы крупного и мелкого заполнителей вычисляем решением двух уравнений:

$$\begin{aligned} \rho_6 &= 1,15\text{Ц} + \text{П} + \text{К}, \\ \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \frac{\text{П}}{\rho_{\text{п}}} + \frac{\text{К}}{\rho_{\text{кз}}} + \frac{\text{В}}{\rho_{\text{в}}} &= 1,0. \end{aligned}$$

При подборе состава конструкционного легкого бетона необходимо:

- 1) определить расход цемента для приготовления 1 м<sup>3</sup> бетона;
- 2) вычислить начальный расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетона;
- 3) установить абсолютную концентрацию крупного заполнителя в бетоне;
- 4) рассчитать расход крупного заполнителя на 1 м<sup>3</sup> бетона;
- 5) вычислить расход песка на 1 м<sup>3</sup> бетона;
- 6) определить общий расход воды в бетонной смеси;
- 7) вычислить расходы материалов на пробные замесы бетонной смеси, приготовить пробные замесы и определить удобоукладываемость бетонной смеси;
- 8) определить среднюю плотность бетонной смеси и изготовить контрольные образцы;
- 9) установить среднюю плотность и прочность бетона;
- 10) построить график зависимости прочности бетона от расхода цемента;
- 11) уточнить расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

Расход цемента определяют по табл. 8 в зависимости от марки цемента, требуемой прочности бетона и крупного заполнителя.

Таблица 8

**Рекомендуемые расходы цемента**

Марка бетона	Рекомендуемая марка цемента	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup> , при марке пористого заполнителя по прочности						
		75	100	125	150	200	250	300
1	2	3	4	5	6	7	8	9
150	400	300	280	260	240	230	220	210
200	400	—	340	320	300	280	260	250
250	400	—	—	390	360	330	310	290
300	500	—	—	—	420	390	360	330
350	500	—	—	—	—	450	410	380
400	500	—	—	—	—	—	480	450
500	600	—	—	—	—	—	570	540

Табл. 8 составлена для бетонных смесей жесткостью 5...8 с, изготовленных на плотном песке и заполнителях с крупностью зерен до 20 мм. При использовании цементов других марок, пористых песков, изменении предельной крупности заполнителей или подвижности бетонной смеси ориентировочные расходы цемента умножают на коэффициенты, приведенные в табл. 9.

Таблица 9

**Коэффициенты изменения расхода цемента**

Характеристики применяемых цементов	Значения коэффициентов изменения расхода цемента для бетона марок						
	150	200	250	300	350	400	500
1	2	3	4	5	6	7	8
Цемент марки:							
300	1,15	1,2	—	—	—	—	—
400	1,0	1,0	1,0	1,15	1,2	1,25	—
500	0,9	0,8	0,85	1,0	1,0	1,0	1,1
600	—	—	0,8	0,9	0,88	0,85	1,0
Песок:							
плотный	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
пористый	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Наибольшая крупность заполнителя, мм:							
40	0,9	0,9	0,93	0,93	0,95	0,95	0,95
20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,1	1,1	1,07	1,07	1,05	1,05	1,05
Жесткость смеси, с:							
5...8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
8...12	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
12...20	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
Подвижность смеси, см:							
1...2	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
2...5	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
8...15	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	—	—

Начальный расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетона определяется в зависимости от заданной удобоукладываемости бетонной смеси, вида и предельной крупности применяемого заполнителя по табл. 10.

Таблица 10

**Начальный расход воды для приготовления бетонной смеси**

Осадка конуса, см	Жесткость, с	Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при использовании в качестве заполнителя					
		пористого гравия с предельной крупностью, мм			пористого щебня с предельной крупностью, мм		
		10	20	40	10	20	40
1	2	3	4	5	6	7	8
8...12	—	235	220	205	265	250	235
3...7	—	220	205	190	245	230	215
1...2	3...5	205	190	175	225	210	195
—	5...8	195	180	165	215	200	185
—	8...12	185	170	160	200	185	175
—	12...20	175	160	150	190	175	165

Концентрацию крупного заполнителя устанавливают по табл. 11 в зависимости от выбранного расхода цемента и воды, средней плотности бетона, плотности зерен крупного заполнителя и водопотребности песка. Приведенные значения предельной концентрации крупного заполнителя справедливы при расходе цемента 300 кг/м<sup>3</sup>. При большем расходе цемента ее значения возрастают на 0,01 на каждые 100 кг цемента, а при снижении расхода цемента сокращаются.

Концентрация крупного заполнителя не должна превышать более чем на 0,05 оптимальное значение, указанное в табл. 12. Если это условие не выполняется, то следует использовать более легкие заполнители.

Таблица 11

**Абсолютная концентрация заполнителя в бетоне**

Средняя плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Плотность зерен заполнителя, кг/л	Абсолютная концентрация заполнителя при водопотребности, %								
		6			8			9		
		при расходе воды, л								
1	2	160	200	240	160	200	240	160	200	240
1500	1,0	0,47	0,43	0,38	0,46	0,41	0,35	0,45	0,40	0,32
1500	1,2	0,50	0,46	0,42	0,50	0,45	0,40	0,48	0,44	0,38
1500	1,4	—	0,50	0,46	—	0,49	0,45	—	0,48	0,43
1600	1,0	0,43	0,38	0,32	0,42	0,35	0,25	0,39	0,32	—
1600	1,2	0,47	0,42	0,35	0,46	0,40	0,30	0,44	0,38	0,27
1600	1,4	0,50	0,46	0,41	0,50	0,45	0,39	0,48	0,43	0,36
1600	1,6	0,54	0,50	0,45	0,53	0,49	0,44	0,53	0,48	0,43
1700	1,0	0,39	0,31	—	0,36	0,26	—	0,32	—	—
1700	1,2	0,43	0,38	0,27	0,41	0,33	—	0,38	0,28	—
1700	1,4	0,47	0,41	0,33	0,45	0,39	0,30	0,43	0,36	0,29
1700	1,6	0,50	0,46	0,40	0,49	0,44	0,37	0,48	0,42	0,31
1700	1,8	0,54	0,50	0,45	0,53	0,49	0,43	0,53	0,48	0,41

1800	1,2	0,37	0,30	—	0,33	—	—	—	—	—
1800	1,4	0,42	0,34	0,25	0,39	—	—	0,36	—	—
1800	1,6	0,45	0,40	0,26	0,45	0,37	0,25	0,42	0,30	—
1800	1,8	0,51	0,45	0,38	0,49	0,44	0,30	0,48	0,41	0,27
1800	2,0	—	0,50	0,44	—	0,49	0,42	—	0,48	0,44

Таблица 12

**Допустимая объемная концентрация крупного заполнителя**

Межзерновая пустотность заполнителя	Объемная концентрация крупного заполнителя при		
	жесткости свыше 8 с	осадке конуса 1...2 см или жесткости 3...8 с	осадке конуса 3 см и более
1	2	3	4
0,36	0,52	0,49	0,47
0,38	0,50	0,47	0,45
0,40	0,48	0,45	0,43
0,42	0,46	0,43	0,41
0,44	0,44	0,41	0,39
0,46	0,42	0,39	0,37
0,48	0,40	0,37	0,35
0,50	0,38	0,35	0,33
0,52	0,36	0,33	0,31
0,54	0,34	0,31	0,29

Расход крупного пористого заполнителя, кг, на 1 м<sup>3</sup> бетона

$$K = C_3 \rho_{кз},$$

где  $C_3$  — абсолютная концентрация заполнителя;  $\rho_{кз}$  — плотность зерен крупного заполнителя в цементном тесте, кг/м<sup>3</sup>.

Расход плотного песка, кг

$$П = \rho_6 - 1,15Ц - K,$$

где  $\rho_6$  — средняя плотность бетона, кг/м<sup>3</sup>;  $Ц$  — расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона, кг.

Общий расход воды определяют по первоначальному расходу с учетом поправок

$$В = В_0 + В_1 + В_2 + В_3,$$

где  $В_0$  — начальный расход воды, л;  $В_1$  — поправка на водопотребность плотного песка, л;  $В_2$  — поправка на расход цемента, л;  $В_3$  — поправка на объемную концентрацию крупного заполнителя, л.

Необходимость введения поправок в расчет расхода воды для бетона объясняется тем, что изменение водопотребности песка, расхода цемента в бетоне и объемной концентрации крупного заполнителя оказывает влияние на водопотребность легковесной смеси.

За среднюю водопотребность плотного песка принимают значение, равное 7 %. При использовании песков с другой водопотребностью в расход воды следует вводить поправку, величину которой определяют по формуле

$$B_1 = \frac{20\Pi(B_{\text{п}} - 7)}{\rho_{\text{п}}},$$

где  $B_{\text{п}}$  — водопотребность применяемого песка, %.

В конструкционном керамзитобетоне водопотребность бетонной смеси возрастает при высоких расходах цемента (низких значениях В/Ц). Предполагается, что при расходе цемента свыше  $450 \text{ кг/м}^3$  водопотребность возрастает примерно на 0,15 л на каждый 1 кг расхода цемента сверх критического значения. Поэтому поправка к расходу воды при больших расходах цемента может быть определена по формуле

$$B_2 = 0,15(\text{Ц} - 450).$$

Для конструкционного керамзитобетона минимальная водопотребность бетонной смеси достигается обычно при объеме концентрации керамзита 0,35...0,40. При большем или меньшем значении объемной концентрации крупного заполнителя в расход воды вводят поправку, которую ориентировочно можно рассчитать по формуле

$$B_3 = 2000(C_3 - 0,37)^2.$$

Порядок расчета расхода материалов и приготовления замесов бетонной смеси тот же, что и для тяжелых бетонов. В процессе приготовления опытных замесов определяют удобоукладываемость бетонных смесей.

После получения бетонной смеси заданной удобоукладываемости определяют ее среднюю плотность и изготавливают серии образцов-кубов, которые подвергают тепловой обработке по режиму, принятому на производстве.

Среднюю плотность и прочность бетона при сжатии определяют, как и при испытании тяжелого бетона.

По результатам испытания образцов и соответствующим значениям расхода цемента строят график и уточняют необходимый расход цемента, позволяющий получить требуемую прочность бетона при заданной его плотности.

Расходы материалов (песка и щебня) находят по интерполяции, для этого используют формулу

$$M_0 = \frac{M_1 + (\text{Ц}_0 - \text{Ц}_1)(M_2 - M_1)}{(\text{Ц}_2 - \text{Ц}_1)},$$

где  $M_0$  — уточненный расход песка или щебня, кг;  $\text{Ц}_0$  — уточненный расход цемента, кг;  $\text{Ц}_1$  и  $\text{Ц}_2$  — расходы цемента в опытных замесах, между которыми находится установленный расход цемента, кг;  $M_1$  и  $M_2$  — расходы материалов в тех же опытных замесах, кг.

Найденный состав бетона проверяют в лабораторных условиях.

### **1.3. Определение средней плотности зерен крупного заполнителя в цементном тесте**

Средняя плотность зерен крупного заполнителя в цементном тесте влияет на конечную прочность легких бетонов и необходима при подборе состава легкого бетона.

Среднюю плотность зерен крупного заполнителя определяют делением массы высушенной навески на ее объем, вычисленный по разности объемов бетонной и растворной смеси на кварцевом песке.

Пробы испытываемых фракций крупного заполнителя объемом 8 л высушивают в сушильном электрошкафу до постоянной массы и просеиванием отделяют зерна смежных фракций.

От высушенной пробы отбирают навеску, равную 3,5 л, перемешивают на предварительно увлажненном противне с навеской цемента в количестве 1,7 кг и кварцевого песка в количестве 3,4 кг. В полученную смесь постепенно наливают воду до получения малоподвижной бетонной смеси жесткостью 5-10 с. Израсходованное количество воды измеряют. Жесткость бетонной смеси определяют следующим образом: в стандартную форму размером 20×20×20 см устанавливают на лабораторную виброплощадку. Внутри формы помещают металлический стандартный усеченный конус с нижним диаметром — 20 см, верхним диаметром — 10 см и высотой — 30 см. Нижнюю часть конуса необходимо слегка согнуть для лучшей фиксации на дне формы.

Укладывают бетонную смесь послойно (3 слоя) в стандартный конус. Каждый слой уплотняют штыковкой. По мере наполнения излишки смеси удаляют и аккуратно, строго вертикально вверх поднимают металлический конус. Включают виброплощадку и засекают время от начала вибрирования до того момента, когда бетонная смесь примет горизонтальное положение в форме. Это время принимают за показатель жесткости бетонной смеси в секундах.

После определения жесткости перемешанную бетонную смесь выдерживают в течение 15 мин., а затем полностью помещают в предварительно взвешенный сосуд емкостью 5 л. Смесь в сосуде уплотняют вибрированием в течение 30 с на виброплощадке.

Сосуд с уплотненной смесью взвешивают и определяют массу смеси в сосуде с погрешностью до 10 г и объем смеси в сосуде с погрешностью до 10 мл.

Среднюю плотность зерен крупного заполнителя в цементном тесте —  $\rho_k^{шт}$  (г/см<sup>3</sup>) вычисляют с точностью до 0,1 г/см<sup>3</sup> по формуле

$$\rho_k^{шт} = \frac{\rho_{см} \cdot m_k}{M - \rho_{см} \cdot \left( \frac{m_{ц}}{\rho_{ц}} + \frac{m_{п.кв.}}{\rho_{п.кв.}} + m_{в} \right)},$$

где  $\rho_{см}$  — плотность приготовленной смеси в уплотненном состоянии, г/см<sup>3</sup>;  $m_k$  — масса испытуемого крупного заполнителя, кг;  $m_{ц}$  — масса цемента в замесе, кг;  $m_{п.кв.}$  — масса кварцевого песка в замесе, кг;  $m_{в}$  — масса воды в замесе, л;  $M$  — суммарный расход всех материалов (включая воду) в замесе, кг;  $\rho_{ц}$  — плотность цемента, 3,1 г/см<sup>3</sup>;  $\rho_{п.кв.}$  — плотность кварцевого песка, 2,65 г/см<sup>3</sup>.

Среднюю плотность зерен заполнителя в цементном тесте определяют как среднее арифметическое значение результатов двух параллельных испытаний.

## 2. СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

В этом разделе курсовой работы необходимо по данным контрольных испытаний прочности бетона произвести анализ функционирования технологического комплекса и установить статистические характеристики для работы его в новом контролируемом периоде.

Данные контрольных испытаний — величина прочности бетона в сериях контрольных образцов и статистические характеристики, принятые на текущий контролируемый период, приводятся в задании на курсовую работу.

Оценка качества бетона на технологическом комплексе производится с помощью контрольной карты отпускной прочности (рис. 1).

Контрольная карта состоит из двух основных зон:  
верхней — график партионной прочности бетона;  
нижней — таблица данных текущего контроля.

После градуирования осей на график фактической прочности партий бетона наносят две сплошные горизонтальные линии, соответствующие величинам среднего уровня прочности бетона и требуемой прочности бетона в данном контролируемом периоде  $R_y$  и  $R_T$ . На карту помимо упомянутых линий наносят дополнительную пунктирную линию верхней предупредительной границы регулирования средней прочности  $R^{B.П.Г}$ . При нормальном ходе технологического процесса точки на графике фактической прочности партии бетона располагаются примерно равномерно относительно линии  $R_y$ . При этом они не должны выходить за границу регулирования.

Единичные результаты (средняя прочность бетона серии образцов) в соответствии с датой испытаний заносятся в строки  $R_1, R_2, R_3$ . Вычисляют среднюю прочность бетона в партии  $R_m$ :

$$R_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i .$$

где  $R_i$  — единичный результат (прочность бетона серии);  $n$  — число единичных результатов.

Полученные значения заносят в строку  $R_m$ .

Определяют размах прочности бетона как разность между максимальным и минимальным значениями фактической прочности отдельных серий бетона партии:

$$W_m = R_{\max} - R_{\min} .$$

Данные расчетов приводят в строке  $W_m$ .

В расчетно-пояснительной записке должны содержаться решения об отпуске каждой партии бетона. Партия бетона подлежит приемке, если фактическая прочность бетона в партии  $R_m$  оказывается не ниже требуемой проч-

ности:  $R_m \geq P_T$ . Положительные решения отмечают в соответствующей строке знаком +, а бракуемые партии знаком –.

В работе на основании данных контрольной карты необходимо отметить случаи нарушения нормального хода технологического процесса и описать меры, которые следует принять в этих случаях. О нарушении нормального





Рис. 1. Контрольная карта отпускной прочности бетона

хода технологического процесса свидетельствует выход точек фактической прочности партии бетона за границу регулирования.

Для оценки однородности прочности бетона и назначения требуемой прочности (отпускной и передаточной) вычисляют средний по партии за анализируемый период коэффициент вариации  $V_n$ :

$$V_n = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N V_m = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \frac{W_m}{\alpha R_m},$$

где  $N$  — число партий за анализируемый период;  $V_m$  — коэффициент вариации прочности  $m$  — й партии бетона;  $W_m$  — размах значений прочности в партии;  $\alpha$  — коэффициент, зависящий от количества серий образцов  $n$ : при  $n = 2$ ,  $\alpha = 1,13$ ; при  $n = 3$   $\alpha = 1,69$  и при  $n = 4$   $\alpha = 2,06$ .

В контрольной карте вычисления выполняют в следующем порядке:

вычисляют отношение  $W_m/\alpha$ , принимая  $\alpha$ , соответствующий количеству серий в партии;

определяют значение  $\left(\frac{W_m/\alpha}{R_m}\right)$  и заносят результаты в строку  $V_m$ ;

все результаты строки  $V_m$  суммируют и вычисляют средний коэффициент вариации за анализируемый период.

Требуемая прочность бетона  $R_T$  назначается в зависимости от величины коэффициента вариации прочности бетона и количества серий контрольных образцов. В соответствии с ГОСТ 18105—86 требуемая прочность (отпускная, передаточная, в промежуточном или проектном возрасте) при нормировании ее по маркам вычисляется по формуле

$$R_T = \frac{(R_{\text{норм}} \cdot K_T^{\wedge})}{100},$$

где  $R_{\text{норм}}$  — нормируемая величина отпускной прочности бетона;  $K_T^{\wedge}$  — коэффициент требуемой прочности, применяемый по табл. 13.

Таблица 13

**Коэффициент требуемой прочности  $K_T^{\wedge}$  тяжелого и легкого бетона на пористых заполнителях**

$V_n, \%$	$K_T^{\wedge}, \%$	$V_n, \%$	$K_T^{\wedge}, \%$	$V_n, \%$	$K_T^{\wedge}, \%$	$V_n, \%$	$K_T^{\wedge}, \%$
6 и менее	83	9	87	12	96	15	108
7	84	10	89	13	100	16	112
8	85	11	92	14	104	—	—

Средний уровень прочности  $R_y$  — прочность, на которую производится подбор состава бетона в следующем контролируемом периоде, назначают по формуле

$$R_y = R_T K_{M,n},$$

где  $K_{M,n}$  — коэффициент, принимаемый по табл. 14 в зависимости от среднего за анализируемый период коэффициента вариации  $V_n$ .

Коэффициент  $K_{м.п}$  среднего уровня прочности

$V_{п}, \%$	$K_{м.п}, \%$	$V_{п}, \%$	$K_{м.п}, \%$	$V_{п}, \%$	$K_{м.п}, \%$
1	2	1	2	1	2
6 и менее	1,03	От 8 до 10	1,07	14 и более	1,15
От 6 до 7	1,04	От 10 до 12	1,09	—	—
От 7 до 8	1,05	От 12 до 14	1,12	—	—

Верхняя предупредительная граница средней прочности бетона в контролируемой партии  $R_m^{\hat{a}.i.\hat{a}}$ , кг/см<sup>2</sup>, превышение которой свидетельствует о завышении прочности, рассчитывается по формуле

$$R_m^{в.п.г} = R_y \left( 1 + 1,28 + \frac{V_{м.п}}{100} \right),$$

где  $V_{м.п}$  — коэффициент межпартионной вариации прочности, принимаемый равным  $0,5V_{п}$ .

В заключении данного раздела курсовой работы необходимо дать краткий сравнительный анализ работы технологического комплекса в рассматриваемом периоде. Следует отметить, как изменится расхода цемента в новом контролируемом периоде, оценивается уровень качества бетона и т. п.

#### Библиографический список

1. Бурлаков Г. С. Технология изделий из легкого бетона : учеб. пособ. для вузов. — М. : Высшая школа, 1986. — 296 с.
2. Гершберг О. А. Технология бетонных и железобетонных изделий. — М. : Стройиздат, 1971. — 259 с.
3. Справочник по производству сборных железобетонных изделий / Г. И. Бердичевский, Ф. М. Иванов и др./под ред. К. В. Михайлова, А. А. Фоломеева. — М. : Стройиздат, 1982. — 440 с.
4. Баженов Ю. М. Технология бетона : учеб. пособ. для вузов. — М. : Высшая школа, 1988. — 495 с.
5. Бетоны и железобетонные изделия (Государственные стандарты). Материалы для изготовления бетона: В 2-х ч. — М.: Из-во стандартов. — Ч. 1, 1985. — 230 с.

Приложение 1

#### Перечень нормативных документов к курсовой работе

- ГОСТ 23464—79\*. Цементы. Классификация.
- ГОСТ 10178—85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
- ГОСТ 25192—82. Бетоны. Классификация и общие технические требования.
- ГОСТ 8267—82. Щебень из природного камня для строительных работ. Технические условия.
- ГОСТ 8268—82. Гравий для строительных работ. Технические условия.
- ГОСТ 8736—85. Песок для строительных работ. Технические условия.
- ГОСТ 10268—80. Бетон тяжелый. Технические требования к заполнителям.
- ГОСТ 10180—78\*. Бетоны. Методы определения прочности на сжатие и растяжение.
- ГОСТ 10181.0—81. Смеси бетонные. Общие требования к методам испытаний.

ГОСТ 10181.1—81. Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости.  
ГОСТ 18105—86. Бетоны. Правила контроля прочности. Основные положения.  
ГОСТ 4.212—80. Система показателей качества продукции. Строительство. Бетоны.  
Номенклатура показателей.  
ГОСТ 7473—85. Смеси бетонные. Технические условия.

План учеб.-метод. документ. 2014 г., поз. № 43

Публикуется в авторской редакции

Подписано в свет 27.01.2014.

Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 0,8. Объем данных 418 Кбайт.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»  
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1  
<http://www.vgasu.ru>, [info@vgasu.ru](mailto:info@vgasu.ru)