НИИЖБ
ГОССТРОЯ СССР

ВНИИЖелезобетон
МИНСТРОЙМАТЕРИАЛОВ
СССР

РУКОВОДСТВО
ПО ПОДБОРУ СОСТАВОВ КОНСТРУКТИВНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

Москва 1975

gost.e-ecolog.ru

НАУЧНО-
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ БЕТОНА
И ЖЕЛЕЗОБЕТОНА
ГОССТРОЯ СССР
(НИИЖБ)

ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ЗАВОДСКОЙ
ТЕХНОЛОГИИ СБОРНЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ И ИЗДЕЛИЙ
МИНСТРОЙМАТЕРИАЛОВ СССР
(ВНИИЖелезобетон)

РУКОВОДСТВО ПО ПОДБОРУ СОСТАВОВ КОНСТРУКТИВНЫХ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1975

УДК 666.973.2.031.1

Рекомендовано к изданию Отделом строительной индустрии, конструкций и новых материалов Госстроя СССР 11 января 1974 г.

Руководство по подбору составов конструктивных легких бетонов на пористых заполнителях. М., Стройиздат, 1975 (НИИЖБ Госстроя СССР, ВНИИЖелезобетон Минстройматериалов СССР).

Содержит основные положения и рекомендации по подбору составов конструктивных и высокопрочных легких бетонов различного назначения, в том числе со специальными свойствами.

Изложены требования к материалам, контрольным образцам и формам для их изготовления, расчет исходных составов бетона. Даны примеры подбора состава бетона и корректировки их с применением математико-статистических методов.

Предназначено для инженерно-технических работников заводов железобетонных изделий, проектных и строительных организаций.

Табл. 26, ил. 2.

Р $\frac{30213-587}{047(01)-75}$ Инструкт.-нормат., 1 вып. 30-75

© Стройиздат, 1975

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящее Руководство содержит рекомендации по подбору составов конструктивных и высокопрочных цементных бетонов различного назначения, изготовленных на крупных пористых заполнителях и на плотном или пористом песке.

Рекомендуемая методика расчета опытной проверки и корректировки составов обеспечивают получение конструктивных и высокопрочных легких бетонов с заданными показателями по прочности, объемной массе, удобоукладываемости бетонной смеси и другим характеристикам при минимально возможном (на данных материалах) расходе цемента.

Настоящее Руководство разработано НИИЖБом Госстроя СССР (кандидаты техн. наук Г. А. Бужевич, Р. К. Житкевич, Г. П. Курасова, Л. И. Карпикова, инженеры Г. М. Козельцева, Ю. М. Романов) и ВНИИЖелезобетоном МПСМ СССР (кандидаты техн. наук В. Г. Довжик, В. А. Дорф, инженеры Э. А. Гроссман, Е. П. Устименко) совместно с АрмНИИСА Госстроя Арм. ССР (д-р техн. наук проф. М. З. Симонов), Минским НИИСМ МПСМ БССР (кандидаты техн. наук М. М. Израелит, С. М. Каган), Киевским НИИСМИ МПСМ УССР (канд. техн. наук Ю. Д. Нациевский), НИИКерамзитом МПСМ СССР (канд. техн. наук В. П. Петров), ЦНИИЭП жилища Госгражданстроя (канд. техн. наук Н. Я. Спивак), ВНИИСТом Миннефтегазстроя СССР (канд. техн. наук Л. С. Пивень), институтом Оргпромстрой Минпромстроя СССР (канд. техн. наук С. П. Тихонов) при участии Дальневосточного Промстройниипроекта Минстроя СССР (канд. техн. наук Л. А. Кузнецова), Ростовского Промстройниипроекта Госстроя СССР (канд. техн. наук В. Г. Хитров, инж. В. Ф. Знакомский), НИИпромстроя Минпромстроя СССР, г. Уфа (канд. техн. наук В. П. Чернышев).

Все замечания и пожелания по содержанию настоящего Руководства просьба направлять в НИИЖБ *(109389, Москва, 2-я Институтская ул., д. 6) или во ВНИИЖелезобетон (111524, Москва, ул. Плеханова, д. 7).*

Дирекция НИИЖБ *Дирекция ВНИИЖелезобетон*

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящее Руководство устанавливает методику подбора и порядок назначения составов легких бетонов марок 150—500 по прочности при сжатии, приготовленных на цементе, неорганических крупных пористых заполнителях и пористом или плотном песке и применяемых для изготовления сборных и монолитных конструкций различного назначения.

Примечание. Руководство не распространяется на легкие бетоны, применяемые в агрессивных средах, при действии высоких температур и в других особых случаях.

1.2. Целью подбора составов бетона является назначение расхода материалов для приготовления бетонной смеси с заданными характеристиками и получения бетона с требуемыми свойствами: прочностью при сжатии и объемной массой, а при необходимости также и плотностью, морозостойкостью, усадкой, прочностью на осевое растяжение и другими при возможно наименьшем расходе цемента.

1.3. Руководство предусматривает подбор состава легкого бетона при его уплотнении вибрацией и твердении в нормальных условиях или при тепловой обработке при атмосферном давлении.

1.4. Принятый в результате подбора состава бетона расход цемента не должен превышать значений, установленных Типовыми нормами расхода цемента для бетонов сборных бетонных и железобетонных изделий массового производства, СН 386-74.

1.5. В задании на подбор состава бетона приводятся:

объемная масса бетона в высушенном до постоянной массы состоянии, указанная в проекте;

проектная марка бетона и отпускная его прочность при сжатии, передаточная прочность (для предварительно-напряженных конструкций), а также, при необходимости, прочность в другие сроки, предусмотренные проектом;

марка бетона по морозостойкости, водонепроницаемости, а также другие дополнительные характеристики бетона, указанные в проекте (по необходимости);

жесткость или подвижность бетонной смеси;

характеристики исходных материалов;

технологические параметры приготовления и укладки бетонной смеси, а также условия и режим твердения бетона.

Примечание. Если к бетону предъявляются дополнительные требования (по прочности при растяжении или изгибе и др.), то подбор состава производится по этим характеристикам с экспериментальным установлением фактических переходных коэффициентов к марочной прочности по сжатию. Ориентировочные значения переходных коэффициентов, необходимые для предварительного расчета опытных замесов, принимаются по главе СНиП «Бетонные и железобетонные конструкции».

1.6. Подбор состава бетонной смеси производится расчетно-экспериментальным способом и включает следующие основные этапы:

выбор и предварительную оценку пригодности имеющихся материалов в соответствии с требованиями гл. 2 настоящего Руководства;

расчет исходных составов бетона для опытных замесов;

проведение опытных замесов и обработку полученных результатов;

назначение рабочего состава бетонной смеси и его корректировку в производственных условиях.

2. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ БЕТОНА

2.1. В качестве крупного заполнителя для приготовления легких бетонов марок 150—500 применяются искусственные и природные пористые заполнители.

2.2. Крупные пористые заполнители должны удовлетворять требованиям ГОСТ 9757—73 «Заполнители пористые неорганические для легкого бетона. Классификация и общие технические требования», соответствующих стандартов или технических условий на отдельные виды пористых заполнителей, а также следующим требованиям:

а) наибольший размер зерен должен быть не более $^3/_4$ расстояния между арматурными стержнями или толщины защитного слоя и не более $^1/_3$ толщины изделий; при толщине изделия 25 мм и менее наибольший размер зерен заполнителя допускается принимать не более $^1/_2$ толщины изделия; применение заполнителя с предельной крупностью 40 мм допускается только при соответствующем технико-экономическом обосновании;

б) соотношение между фракциями крупного заполнителя рекомендуется принимать с учетом данных табл. 9 настоящего Руководства. При этом средняя прочность смеси фракций крупного заполнителя в цилиндре, рассчитанная по формуле (1), должна удовлетворять требованиям п. 2.2 «в», а объемная насыпная масса, смеси фракций — п. 2.2 «г»;

в) прочность при сжатии заполнителя должна находиться в пределах, указанных в табл. 1;

г) объемная насыпная масса крупного пористого заполнителя должна быть, как правило, не более величин, указанных в табл. 2.

2.3. В качестве мелкого заполнителя (песка) для конструктивных легких бетонов марок 150—500 используются:

искусственные и природные пористые пески, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 9757—73;

смеси пористых и плотных песков;

природные плотные пески по ГОСТ 8736—67.

2.4. Рекомендуется применять мелкие пористые заполнители (пески) или смесь пористого и плотного песков, удовлетворяющие следующим техническим требованиям:

а) зерновой состав должен находиться в следующих пределах:

Таблица 1

Рекомендуемая прочность крупных пористых заполнителей в зависимости от заданной марки бетона

Заданная марка бетона	Марка крупного заполнителя по прочности	Прочность при сдавливании в цилиндре по ГОСТ 9758—68, МПа			
		пористого гравия	пористого щебня (кроме шлакопемзового и аглопоритового)	шлакопемзового щебня	аглопоритового щебня
150	П 75 — П200	1,5—5,5	0,9—2,7	0,5—1,8	0,6—1,2
200	П100 — П250	2,0—6,5	1,2—3,3	0,6—2,2	0,7—1,4
250	П125 — П300	2,5—8,0	1,5—4	0,8—2,7	0,8—1,6
300	П150 — П350	3,3 и более	1,8 и более	1,1 и более	0,9 и более
350	П200 — П350	4,5 »	2,2 »	1,4 »	1 »
400	П250 — П350	5,5 »	2,7 »	1,8 »	1,2 »
500	П300 — П350	6,5 »	3,3 »	2,2 »	1,4 »

Примечание. Здесь и далее прочностные характеристики материалов в соответствии с системой СИ даны в МПа (мегапаскалях); 1 МПа $\approx$ 10 кгс/см^2.

Размеры отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на контрольных ситах, % объема
5	0—10
2,5	15—35
1,25	30—50
0,63	40—65
0,315	65—80
0,14	90—100
Проход через сито № 014;	0—10

б) модуль крупности, определяемый по ГОСТ 8735—65 «Песок для строительных работ. Методы испытания», должен быть от 1,8 до 2,5.

Таблица 2

Максимальная марка по объемной насыпной массе крупных заполнителей в зависимости от заданной объемной массы бетона

Заданная объемная масса бетона в высушенном до постоянной массы состоянии, кг/м³	Максимальная марка крупного пористого заполнителя	
	для гравия	для щебня
1200	—/500	—
1300	450/600	—/500
1400	500/700	—/600
1500	600/800	500/700
1600	700/900	600/800
1700	800/—	700/900
1800	900/—	800/1000

Примечание. В числителе даны значения объемной насыпной массы (кг/м³) крупных пористых заполнителей при использовании плотного песка (кварцевого и т. п.), в знаменателе — при использовании пористого песка, полученного в процессе дробления применяемых крупных заполнителей или отсева от них мелкой фракции. Объемная масса свыше 1800 кг/м³ допускается только для бетона марок 300 и более;

в) объемная насыпная масса должна быть не менее:
600 кг/м³ — для бетонов марок 150—250;
800 кг/м³ — для бетонов марок 300—500.

2.5. Плотный песок должен удовлетворять требованиям ГОСТ 8736—67 «Песок для строительных работ. Общие требования» и ГОСТ 10268—70 «Заполнители для тяжелого бетона. Технические требования».

2.6. В качестве вяжущего применяются цементы, соответствующие главе СНиП «Вяжущие материалы неорганические и добавки для бетонов и растворов».

При выборе вяжущего предпочтение следует отдавать портландцементам с нормальной густотой до 27%.

Марку цемента (по ГОСТ 10178—62 * «Портландцемент, шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент и их разновид-

ности») в зависимости от проектной марки бетона принимают по табл. 3.

Таблица 3

Марки цементов для приготовления легких бетонов

Проектная марка легкого бетона	Марки цементов по ГОСТ 10178—62*	
	рекомендуемые	допускаемые
150	400	300, 500
200	400	300, 500
250	400	500
300	500	400, 600
350	500	400, 600
400	500	400, 600
500	600	500

2.7. Вода должна удовлетворять требованиям главы СНиП «Бетон на неорганических вяжущих и заполнителях».

2.8. Для улучшения формовочных свойств бетонной смеси, ускорения твердения бетона и т. д. могут быть использованы различные химические добавки в соответствии с рекомендациями главы СНиП «Вяжущие материалы неорганические и добавки для бетонов и растворов» с обязательным уточнением дозировки, а также режима твердения бетона при применении добавки.

3. РАСЧЕТ ИСХОДНЫХ СОСТАВОВ БЕТОНА ДЛЯ ОПЫТНЫХ ЗАМЕСОВ

3.1. Расчет исходных составов бетона для опытных замесов производится после испытания заполнителей, предназначаемых для приготовления бетона.

3.2. Определению подлежат следующие свойства заполнителей: объемная насыпная масса крупных и мелких заполнителей, объемная масса зерен в цементном тесте, прочность и межзерновая пустотность крупного заполнителя, а также водопотребность песка.

Испытание пористых заполнителей проводится по ГОСТ 9758—68 «Заполнители пористые неорганические для легкого бетона. Методы испытания».

Определение водопотребности песка проводится по методике, изложенной в приложении 1.

Примечание. Допускается определять объемную массу зерен крупных пористых заполнителей по п. 4 ГОСТ 9758—68 с последующим пересчетом на объемную массу зерен в цементном тесте. Переводной коэффициент может определяться экспериментально или приниматься ориентировочно равным: 1,05 — для пористого гравия и 1,1 — для пористого щебня.

При применении крупных пористых заполнителей двух или трех фракций (5—10; 10—20 и 20—40 мм) помимо испытания отдельных фракций определяют характеристики двух- или трехфракционного крупного заполнителя:

среднюю объемную насыпную массу определяют испытанием пробы, состоящей из разных фракций при принятом их процентном соотношении;

среднюю объемную массу зерен заполнителя в цементном тесте определяют по ГОСТ 9758—68;

среднюю прочность определяют по формуле

$$R_{к}^{ц} = 0{,}01\ (R_{к(1)}^{ц} X_1 + R_{к(2)}^{ц} X_2 + R_{к(3)}^{ц} X_3)\ , \qquad (1)$$

где $R_{к(1)}^{ц}$, $R_{к(2)}^{ц}$, $R_{к(3)}^{ц}$ — прочность каждой фракции;

X_1, X_2, X_3 — процентное содержание каждой фракции в смеси (по массе).

3.3. Расчет и назначение исходного состава легких бетонов на плотном песке производится в следующем порядке:

а) по табл. 5—6 (см. приложение 2) определяется расход цемента $Ц$ (кг/м³) в зависимости от заданной марки бетона, марки цемента, наибольшей крупности и прочности крупного заполнителя и жесткости (подвижности) бетонной смеси;

б) по табл. 7 (см. приложение 2) определяется начальный расход воды B_0 (л/м³) в зависимости от заданной жесткости (подвижности) бетонной смеси, наибольшей крупности и вида заполнителя;

в) по табл. 8 (см. приложение 2) определяется объемная концентрация крупного заполнителя φ* в зависимости от выбранного расхода цемента и воды, заданной объемной массы бетона, объемной массы зерен крупного заполнителя и водопотребности песка.

При этом значение φ не должно превышать более чем на 0,05 оптимальной величины, устанавливаемой по табл. 4 настоящего Руководства, в зависимости от межзерновой пустотности заполнителя и удобоукладываемости бетонной смеси. Если это условие не выполняется, то следует применять более легкие заполнители.

Расход крупного пористого заполнителя (кг/м³) определяется по формуле

$$К = 1000\ \varphi\ \gamma_{з.к}, \qquad (2)$$

где $\gamma_{з.к}$ — объемная масса зерен крупного заполнителя в цементном тесте, кг/л;

г) расход плотного песка (кг/м³) рассчитывается в зависимости от объемной массы бетона $\gamma_{б.сух}$ и расхода цемента $Ц$ и крупного заполнителя $К$ по формуле

$$П = \gamma_{б.сух} - 1{,}15\,Ц - К; \qquad (3)$$

д) общий расход воды $В$ (л/м³) рассчитывается с учетом поправок на расходы крупного пористого заполнителя и цемента, а также водопотребности песка:

$$В = B_0 + B_1 + B_2 + B_3^{пл}, \qquad (4)$$

где B_0 — начальный расход воды, принятый по табл. 7 (см. приложение 2);

B_1 — поправка на объемную концентрацию крупного заполнителя, определяемая по формуле

---

* φ — абсолютный объем (концентрация) крупного пористого заполнителя в л на 1 м³ бетона, деленный на 1000.

$$B_1 = 2000\,(\varphi - 0{,}37)^2; \qquad (5)$$

B_2 — поправка на расход цемента, рассчитываемая по формуле

$$B_2 = 0{,}15\,(Ц - 450) \text{ при } Ц > 450 \qquad (6)$$

$$(\text{при } Ц \leqslant 450 \quad B_2 = 0);$$

$B_3^{пл}$ — поправка на водопотребность плотного песка — $B_п$, рассчитываемая по формуле

$$B_3^{пл} = \frac{0{,}02\,П\,(B_П - 7)}{\gamma_П^{пл}} \approx 0{,}01\,П\,(B_П - 7). \qquad (7)$$

Таблица 4

Рекомендуемая объемная концентрация крупного заполнителя

Межзерновая пустотность заполнителя	Объемная концентрация крупного заполнителя φ при		
	жесткости свыше 30 с	осадке конуса 1—2 см или жесткости 10—30с	осадке конуса 3 см и более
0,36	0,52	0,49	0,47
0,38	0,50	0,47	0,45
0,4	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
0,5	0,38	0,35	0,33
0,52	0,36	0,33	0,31
0,54	0,34	0,31	0,29

3.4. Расчет исходного состава легких бетонов на пористом или смешанном (пористом и плотном) песке производится в следующем порядке:

а) по табл. 5 и 6 (см. приложение 2) определяется расход цемента $Ц$ в зависимости от марки бетона и цемента, наибольшей крупности и прочности крупного заполнителя и жесткости (подвижности) бетонной смеси;

б) по табл. 7 приложения 2 определяется начальный расход воды B_0 в зависимости от заданной жесткости (подвижности) бетонной смеси, наибольшей крупности и вида крупного заполнителя;

в) по табл. 4 настоящего Руководства определяется объемная концентрация крупного заполнителя φ в зависимости от его пустотности и жесткости (подвижности) бетонной смеси и по формуле (2) рассчитывается расход крупного заполнителя;

г) по формуле (8) рассчитывается расход пористого песка $П_{пор}$ (кг/м³), обеспечивающий получение заданной объемной массы бетона в сухом состоянии $\gamma_{б.сух}$ в зависимости от расхода цемента $Ц$ и воды $(B_0+B_1+B_2)$, объемной концентрации крупного заполнителя φ, водопотребности пористого $B_П^{пор}$ и плотного $B_П^{пл}$

песков (%), плотности цемента $\gamma_ц$ и плотного песка $\gamma_П^{пл}$ (в кг/л) и объемной массы зерен пористого песка в цементном тесте $\gamma_{ЗП}$

$$П_{пор} = \frac{A - \Sigma П C_B^{пл}}{C_B^{пор} - C_B^{пл}}, \quad (8)$$

где $A = 1000\,(1 - \varphi) - \frac{Ц}{\gamma_Ц} - (B_0 + B_1 + B_2)$; (9)

$$\Sigma П = \gamma_б - 1{,}15\,Ц - K; \quad (10)$$

$$C_B^{пл} = \frac{1 + 0{,}02\,(B_П^{пл} - 7)}{\gamma_П^{пл}}; \quad (11)$$

$$C_B^{пор} = \frac{1 + 0{,}02\,(B_П^{пор} - 7)}{\gamma_{ЗП}}. \quad (12)$$

Величина B_1 в формуле (9) принимается равной нулю при объемной концентрации крупного заполнителя φ, соответствующей оптимальному значению, указанному в табл. 4, настоящего Руководства.

При увеличении объемной концентрации крупного заполнителя на 0,05 (по сравнению с оптимальной) B_1 принимается равным 5 л/м³; величина B_2 в формуле (9) рассчитывается по формуле (6); величина K в формуле (10) рассчитывается по формуле (2);

д) по формуле (13) рассчитывается расход плотного песка $П_{пл}$ (кг/м³) в смешанном песке

$$П_{пл} = \Sigma П - П_{пор}. \quad (13)$$

Примечания: 1. Если при расчете по формуле (8) величина $П_{пор}$ окажется меньше 20 кг/м³, то бетон следует готовить только на плотном песке и расчет состава бетона вести в соответствии с п. 3.3 настоящего Руководства.

2. Если при расчете по формуле (13) величина $П_{пл}$ окажется в пределах ±20 кг/м³, то бетон следует готовить только на пористом песке.

3. Если при расчете по формуле (13) величина $П_{пл}$ окажется меньше 20 кг/м³, то следует повторить расчет с объемной концентрацией крупного заполнителя, увеличенной на 0,05 против оптимальной (по табл. 4) или применить для приготовления бетона более легкие пористые заполнители.

4. Если применяется смесь двух пористых песков, то в формуле (8) вместо характеристик плотного песка $\gamma_П^{пл}$ и $B_П^{пл}$ следует поставить соответствующие характеристики второго пористого песка;

е) общий расход воды B рассчитывается по формуле

$$B = B_0 + B_1 + B_2 + B_3^{пл} + B_3^{пор}, \quad (14)$$

где B_0, B_2 и $B_3^{пл}$ — принимаются по п. 3.3 «д» настоящего Руководства;

B_1 — поправка на φ, принимаемая в соответствии с п. 3.4 «г» настоящего Руководства;

$B_3^{пор}$ — поправка на водопотребность пористого песка, рассчитываемая по формуле

$$B_3^{пор} = 0{,}02 \frac{П_{пор}}{\gamma_{зп}} (B_П - 7) . \quad (15)$$

3.5. Для опытных замесов помимо исходного состава рассчитываются по методике, описанной в пп. 3.3 и 3.4 настоящего Руководства, еще два состава, в которых расход цемента отличается от принятого в исходном составе на ±10—20%.

3.6. Если на принятых материалах нельзя получить заданную объемную массу бетона при допустимых значениях φ, то диапазон варьирования расхода цемента по п. 3.5 следует уменьшить так, чтобы упомянутое выше условие выполнялось, или принять другие заполнители.

3.7. В случаях когда для приготовления легкого бетона используются крупный и мелкий пористые заполнители одного вида и в задании на подбор состава не указывается объемная масса бетона, а задается только ее верхний предел, расход отдельных фракций заполнителей для приготовления бетона может устанавливаться по табл. 9 приложения 2 в зависимости от жесткости (подвижности) бетонной смеси, принятых расходов цемента и наибольшей крупности заполнителя.

Далее расчетом определяется ожидаемая объемная масса бетона в сухом состоянии $\gamma_{б.сух}$ (кг/м³) по формулам:

$$\gamma_{б.сух} = 1{,}15 Ц + \Sigma V_i \gamma_i \quad (16)$$

или

$$\gamma_{б.сух} = 1{,}15 Ц + V_П \gamma_П + V_К \gamma_К , \quad (17)$$

где V_i, $V_П$ и $V_К$ — насыпные объемы каждой фракции заполнителя или песка и крупного заполнителя, м³;

γ_i, $\gamma_П$, $\gamma_К$ — насыпные объемные массы фракций, заполнителя или песка и крупного заполнителя, кг/м³.

Если расчетная объемная масса бетона превышает требуемое значение, следует повторить расчет состава бетона в соответствии с рекомендациями п. 3.4, принимая в формуле (8) $С_в^{пл}=0$.

Если при расчете по этой методике расчетная объемная масса бетона окажется выше требуемой (см. примечание 3 к п. 3.4), то необходимо применить для приготовления бетона более легкие пористые заполнители.

3.8. При необходимости подбора одновременно нескольких марок бетона, а также в случаях когда в процессе подбора необходимо уточнить ряд дополнительных факторов (соотношение фракций в крупном или мелком заполнителе, дозировку химических добавок и т. п.), рекомендуется использовать методы математического планирования экспериментов, основные положения которого приведены в приложении 3 настоящего Руководства.

4. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТНЫХ ЗАМЕСОВ И ОБРАБОТКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

4.1. Рассчитанные в соответствии с гл. 3 настоящего Руководства составы для опытных замесов проверяются в лабораторных условиях.

4.2. Работа по проведению опытных замесов (п. 3.5) слагается из следующих этапов:

предварительного расчета материалов на требуемый объем опытных замесов;

приготовления бетонных смесей, проверки их удобоукладываемости и корректировки, при необходимости, состава для получения заданной жесткости (подвижности);

изготовления бетонных образцов для определения требуемых свойств бетона;

испытания бетонных образцов;

обработки результатов испытания бетонных образцов и расчета на этой основе окончательного состава бетонной смеси, обеспечивающего получение требуемых свойств бетона.

4.3. При приготовлении опытных замесов в лаборатории соблюдаются следующие основные правила:

опытные замесы должны приготовляться на тех же заполнителях и цементе, которые были приняты при расчете составов и будут использованы при изготовлении конструкций на производстве;

заполнители должны иметь положительную температуру и применяться в сухом состоянии;

дозирование цемента и заполнителей производится по весу; вода дозируется по объему или по весу; взвешивание материалов производится с точностью до 0,5%;

приготовление опытных замесов производится в лабораторном смесителе принудительного действия или на бойке с перемешиванием смеси в течение 3—5 мин;

температура в помещении, где приготавливаются опытные замесы бетонной смеси и формуются образцы, должна быть не менее 15° С.

4.4. Объем опытного замеса должен выбираться так, чтобы объем бетонной смеси в уплотненном состоянии превышал объем формуемых образцов на 1—3 л.

4.5. Жесткость или подвижность бетонной смеси опытных замесов определяется по ГОСТ 11051—70 «Бетон легкий на пористых заполнителях. Методы испытаний бетонной смеси» через промежуток времени, соответствующий принятой на данном производстве, продолжительности между приготовлением смеси и ее укладкой.

Если жесткость (подвижность) бетонной смеси оказалась не соответствующей заданной, то проводят вторичное перемешивание приготовляемой смеси (включая пробу, отобранную для проверки указанных свойств) с добавлением воды при излишне жесткой или недостаточно подвижной смеси или же цемента и заполнителей в исходной пропорции при недостаточно жесткой или излишне подвижной смеси.

4.6. После получения бетонной смеси с заданной жесткостью (подвижностью) из нее изготовляют в соответствии с указаниями ГОСТ 11050—64 «Бетон легкий на пористых заполнителях. Методы определения прочности и объемного веса» по 3—6 образцов с од-

новременным определением объемной массы свежеуложенного бетона, в соответствии с ГОСТ 11051—70, по которому подсчитывают фактический расход материалов.

Примечания: 1. Допускается проводить изготовление и испытание образцов размером 10×10×10 см с приведением результатов испытания к размеру 15×15×15 см путем умножения полученной прочности на коэффициент 0,95. При этом обязательна последующая проверка прочности подобранного состава на стандартных образцах размером 15×15×15 см для уточнения указанного коэффициента.

2. Образцы для испытания на сжатие и формы для их изготовления должны отвечать требованиям, изложенным в приложении 4.

4.7. Режим твердения (в том числе тепловой обработки) бетонных образцов должен соответствовать режиму твердения конструкции, для которой производится подбор состава бетона.

4.8. После твердения образцов определяют их объемную массу и прочность при сжатии в требуемые сроки в соответствии с ГОСТ 11050—64.

4.9. По полученным результатам испытания образцов строят график зависимости прочности бетона от фактических расходов цемента в опытных замесах, по которому устанавливают необходимый расход цемента $Ц_0$, позволяющий получить требуемую прочность бетона при заданной его объемной массе.

Далее, путем интерполяции по формуле (18) рассчитывают расходы остальных материалов (песков, крупного заполнителя и воды в установленном составе бетона M в кг или в л на 1 м³ бетона)

$$M = M_1 + \frac{(Ц_0 - Ц_1)(M_2 - M_1)}{(Ц_2 - Ц_1)}, \qquad (18)$$

где $Ц_1$ и $Ц_2$ — фактические расходы цемента в опытных замесах, между которыми находится установленный расход цемента $Ц_0$;

M_1 и M_2 — фактические расходы материалов (песков, крупного заполнителя и воды) в тех же опытных замесах.

4.10. Для бетонов, к которым предъявляются особые требования, приготавливается замес из бетона подобранного состава, из которого изготавливают образцы для определения свойств, специфических для данного вида бетона (морозостойкость, водонепроницаемость, сопротивление растяжению и изгибу, ползучесть, усадка и т. п.).

4.11. Записи при подборе составов бетона ведутся в специальном журнале.

4.12. Примеры подбора составов легких бетонов приведены в приложении 6 настоящего Руководства.

5. НАЗНАЧЕНИЕ РАБОЧЕГО СОСТАВА БЕТОННОЙ СМЕСИ И ЕГО КОРРЕКТИРОВКА В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

5.1. Рабочий состав легкого бетона и его дозировка на замес устанавливаются исходя из подобранного состава с учетом влажности заполнителей и объема замеса по формулам:

$$ц = ЦV; \tag{19}$$

$$к = КV\left(1 + \frac{W_к}{100}\right); \tag{20}$$

$$п = ПV\left(1 + \frac{W_п}{100}\right); \tag{21}$$

$$в = V\left(В - К\frac{W_к}{100} - П\frac{W_п}{100}\right), \tag{22}$$

где $ц$, $п$, $к$, $в$ — дозировки материалов на замес, кг;

$Ц$, $П$, $К$, $В$ — расходы материалов в подобранном составе, кг/м³;

$W_п$ и $W_к$ — влажность песка и крупного заполнителя, % массы;

V — объем замеса, м³.

5.2. При проведении первой производственной формовки с использованием подобранного рабочего состава бетона проверяется соответствие жесткости (подвижности) бетонной смеси заданному ее значению.

Если бетонная смесь недостаточно хорошо укладывается при формовании изделия (недоуплотняется, расслаивается и т. д.), то необходимо скорректировать состав бетона, изменив жесткость (подвижность) смеси, зерновой состав заполнителей и т. п. Качество формования вторично проверяется путем осмотра распалубленного готового изделия.

5.3. В процессе производственной формовки изготавливается не менее двух серий контрольных образцов по ГОСТ 11050—64 на каждый срок испытания. Если средняя прочность всех серий образцов, испытанных в данный срок, окажется ниже требуемой, то следует скорректировать расход цемента, используя зависимость между прочностью и расходом цемента, полученную при подборе состава бетона в лаборатории по п. 4.9 настоящего Руководства и провести вторичную проверку нового назначенного состава бетона.

Состав бетона признается удовлетворительным, если прочность испытанных контрольных образцов отличается от заданной в бо́льшую сторону не более чем на 10%, а в меньшую — не более чем на 5%, а объемная масса бетона отличается от заданной на ±3%.

5.4. При изменении качества применяемых заполнителей или цемента назначенный рабочий состав бетона может корректироваться на основе зависимостей, построенных в результате ряда подборов составов на различных партиях заполнителя или цемента неизменного вида или марки.

При изменении вида или марки цемента, а также пористого заполнителя состав легкого бетона должен подбираться заново.

При этом назначенный состав бетона должен быть предварительно проверен в лабораторных и производственных условиях.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОТРЕБНОСТИ ПЕСКА

Водопотребность плотного или пористого песка определяется по видоизменному методу Б. Г. Скрамтаева и Ю. М. Баженова на цементно-песчаном растворе стандартного состава 1 : 2,28 по абсолютному объему (или 1 : 2 по массе в случае применения плотного песка). В раствор вводится такое количество воды, при котором расплыв конуса на встряхивающем столике, определяемый по ГОСТ 310—60 «Цементы. Методы физических и механических испытаний», становится равным 170 мм.

Водопотребность песка $B_п$ вычисляется по формуле

$$B_п = \frac{(B/Ц)_р - (B/Ц)_т}{2{,}28} 100\%, \qquad (23)$$

где $(B/Ц)_р$ и $(B/Ц)_т$ — водоцементное отношение раствора и цементного теста, соответствующие расплыву конуса 170 мм.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Для определения водопотребности отвешиваются 250 г цемента и 500 г плотного песка или 190 $\gamma_{зп}$ г пористого песка ($\gamma_{зп}$ — объемная масса зерен пористого песка в цементном тесте, кг/л, по ГОСТ 9758—68).

Материалы высыпают в сферическую чашку, предварительно протертую влажной тканью, и перемешивают лопаткой в течение 1 мин. Затем в центре сухой смеси делают лунку, вливают в нее отмеренное с точностью до 1 мл количество воды (80—100 мл для плотного песка и 130—150 мл для пористых песков) и перемешивают смесь в течение 3 мин. Далее определяют расплыв конуса на встряхивающем столике по ГОСТ 310—60. После определения расплыва раствор собирают вновь в чашку, доливают 5—10 мл воды, перемешивают в течение 1 мин и повторяют определение.

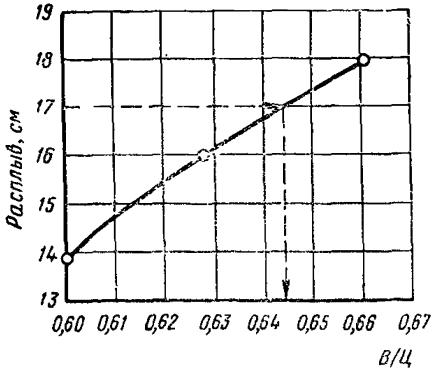


Рис. 1. Зависимость расплыва раствора на встряхивающем столике от В/Ц

Определение повторяют до тех пор, пока расплыв конуса не станет 170 мм или более. При этом на одном замесе производится не свыше 3 определений. Если после третьего определения расплыв конуса будет меньше 170 мм или после первого определения он будет больше 170 мм, то делается повторный за-

мес раствора с изменённым в соответствующую сторону расходом воды.

По результатам определения строится график зависимости расплыва конуса от $(В/Ц)_р$, по которому определяется $(В/Ц)_р$, соответствующее расплыву конуса 170 мм. Затем аналогично определяется водоцементное отношение цементного теста $(В/Ц)_т$, обеспечивающее расплыв конуса 170 мм. Навеска цемента для определения $(В/Ц)_т$ берется равной 900 г.

Пример

Требовалось определить водопотребность шлакопемзового песка с $\gamma_{зп}=2,43$.

Раствор готовится следующего начального состава: цемент — 250 г; песок — $190 \cdot 2,43=462$ г; вода — 150 мл $[(В/Ц)_р=0,6]$.

После первого определения был получен расплыв конуса 14 см, в связи с чем в раствор ввели дополнительно 7 мл воды $[(В/Ц)_р=0,63]$. Второе определение дало расплыв 16 см. После этого в раствор ввели еще 8 мл воды $[(В/Ц)_р=0,66]$ и при третьем определении расплыв конуса составил 18 см.

По этим результатам был построен график, приведенный на рис. 1, по которому было найдено, что расплыву конуса 170 мм отвечает $(В/Ц)_р=0,644$. При испытании цемента было получено значение $(В/Ц)_т=0,263$. Отсюда: $В_п=\dfrac{0,644-0,263}{2,28}100=16,75\%$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ТАБЛИЦЫ ДЛЯ РАСЧЕТА СОСТАВОВ ЛЕГКИХ БЕТОНОВ

Таблица 5

Ориентировочный расход цемента для расчета состава бетонов на пористых заполнителях с предельной крупностью 20 мм и плотном песке с жесткостью бетонной смеси 20—30 с

Марка бетона	Рекомендуемая марка цемента	Расход цемента (кг/м³) при марке пористого заполнителя по прочности						
		75	100	125	150	200	250	300
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

Примечания: 1. Определение марки заполнителя по прочности производится по п. 2.2 «в» настоящего Руководства.

2. При использовании цементов других марок, применении пористых песков, изменении предельной крупности заполнителя или подвижности (жесткости) бетонной смеси указанные в таблице ориентировочные расходы цемента умножаются на коэффициенты, приведенные в табл. 6.

Таблица 6

Коэффициенты изменения расходов цемента

Условия	Значение коэффициентов изменения расхода цемента для бетона марок						
	150	200	250	300	350	400	500
Применение цемента марки:							
300	1,15	1,2	—	—	—	—	
400	1	1	1	1,15	1,2	1,25	—
500	0,9	0,88	0,85	1	1	1	1,1
600	—	—	0,8	0,9	0,88	0,85	1
Применение песка:							
плотного	1	1	1	1	1	1	1
пористого (или смеси)	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1
Применение заполнителя с наибольшей крупностью, мм:							
40	0,9	0,9	0,93	0,93	0,95	0,95	0,95
20	1	1	1	1	1	1	1
10	1,1	1,1	1,07	1,07	1,05	1,05	1,05
Применение смесей:							
жесткостью, с							
20—30	1	1	1	1	1	1	1
30—50	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
50—80	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
подвижностью, см							
1—2	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
3—7	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
8—12	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	—	—

Таблица 7

Ориентировочные начальные расходы воды для приготовления бетонной смеси с использованием плотного песка

Осадка конуса, см	Жесткость, с	Расход воды (л/м³) при использовании в качестве заполнителя					
		пористого гравия с предельной крупностью, мм			пористого щебня с предельной крупностью, мм		
		10	20	40	10	20	40
8—12	—	235	220	205	265	250	235
3—7	—	220	205	190	245	230	215
1—2	10—20	205	190	175	225	210	195
—	20—30	195	180	165	215	200	185
—	30—50	185	170	160	200	185	175
—	50—80	175	160	150	190	175	165

Таблица

Объемная концентрация φ крупного заполнителя для легких бетонов на плотном песке

$\gamma_{3к}$, кг/л	Ц, кг/м³	Водопотребность песка $B_п$, %														
		6					8					10				
		Расход воды B_0, л														
		160	180	200	220	240	160	180	200	220	240	160	180	200	220	240
1	2	3					4					5				
а) для бетона с объемной массой в сухом состоянии 1300 кг/м³																
0,8	200	0,49	0,48	0,46	0,44	0,42	0,48	0,47	0,45	0,43	0,4	0,47	0,46	0,44	0,41	0,39
	300	0,50	0,49	0,47	0,45	0,43	0,49	0,48	0,46	0,44	0,42	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41
	400	0,51	0,5	0,48	0,46	0,44	0,5	0,49	0,47	0,45	0,43	0,5	0,48	0,46	0,44	0,42
	500	0,51	0,5	0,48	0,46	0,44	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,5	0,49	0,47	0,45	0,43
0,9	200	0,51	0,49	0,47	0,46	0,44	0,50	0,48	0,45	0,45	0,42	0,49	0,47	0,44	0,43	0,41
	300	0,52	0,5	0,48	0,47	0,45	0,51	0,49	0,47	0,46	0,43	0,5	0,49	0,45	0,45	0,43
	400	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,52	0,50	0,48	0,47	0,44	0,51	0,5	0,46	0,46	0,44
	500	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,52	0,5	0,46	0,47	0,45
1	200	0,52	0,51	0,49	0,47	0,45	0,52	0,5	0,48	0,46	0,44	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43
	300	0,53	0,52	0,5	0,48	0,46	0,53	0,51	0,49	0,48	0,46	0,52	0,51	0,49	0,47	0,45
	400	0,54	0,53	0,51	0,49	0,47	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47	0,53	0,52	0,51	0,48	0,46
	500	0,54	0,53	0,51	0,49	0,48	0,54	0,53	0,51	0,49	0,47	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47
1,1	200	0,54	0,53	0,51	0,49	0,47	0,53	0,52	0,5	0,48	0,46	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
	300	0,55	0,53	0,52	0,50	0,48	0,54	0,53	0,51	0,49	0,47	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47
	400	—	0,54	0,53	0,51	0,49	0,55	0,54	0,52	0,50	0,49	0,55	0,53	0,52	0,50	0,48
	500	—	0,54	0,53	0,51	0,49	—	0,54	0,53	0,51	0,49	—	0,54	0,52	0,51	0,49
1,2	200	—	0,54	0,53	0,51	0,49	0,55	0,54	0,52	0,50	0,48	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47
	300	—	0,55	0,53	0,52	0,50	—	0,55	0,53	0,51	0,49	—	0,54	0,52	0,51	0,49
	400	—	0,56	0,54	0,52	0,51	—	—	0,54	0,52	0,50	—	0,55	0,54	0,52	0,50
	500	—	0,56	0,54	0,53	0,51	—	—	0,54	0,53	0,51	—	—	0,54	0,53	0,51

Продолжение табл. 8

1	2	3					4					5				
1,3	200	—	—	0,54	0,52	0,51	—	0,55	0,54	0,52	0,5	—	0,55	0,53	0,51	0,49
	300	—	—	0,55	0,53	0,52	—	—	0,55	0,53	0,52	—	—	0,54	0,53	0,51
	400	—	—	—	0,54	0,53	—	—	—	0,54	0,52	—	—	—	0,54	0,52
	500	—	—	—	0,54	0,53	—	—	—	0,54	0,53	—	—	—	0,54	0,53
		б) для бетона с объемной массой в сухом состоянии 1400 кг/м³														
0,8	200	0,46	0,44	0,42	0,4	0,37	0,45	0,43	0,41	0,38	0,35	0,43	0,41	0,39	0,36	0,32
	300	0,47	0,45	0,43	0,41	0,39	0,46	0,44	0,42	0,4	0,37	0,45	0,43	0,41	0,38	0,35
	400	0,48	0,46	0,44	0,42	0,4	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38	0,46	0,44	0,42	0,4	0,37
	500	0,48	0,47	0,45	0,43	0,4	0,48	0,46	0,44	0,42	0,39	0,47	0,45	0,43	0,41	0,38
0,9	200	0,48	0,46	0,44	0,42	0,39	0,47	0,45	0,43	0,4	0,37	0,45	0,43	0,41	0,38	0,35
	300	0,49	0,47	0,45	0,43	0,4	0,48	0,46	0,44	0,42	0,39	0,47	0,45	0,43	0,4	0,37
	400	0,5	0,48	0,46	0,44	0,42	0,49	0,47	0,45	0,43	0,41	0,48	0,46	0,44	0,42	0,39
	500	0,5	0,48	0,46	0,44	0,42	0,49	0,48	0,46	0,44	0,41	0,49	0,47	0,45	0,43	0,4
1	200	0,5	0,48	0,46	0,44	0,41	0,48	0,47	0,44	0,42	0,39	0,47	0,45	0,44	0,4	0,37
	300	0,5	0,49	0,47	0,45	0,42	0,5	0,48	0,46	0,43	0,41	0,49	0,47	0,45	0,42	0,4
	400	0,51	0,49	0,48	0,46	0,44	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43	0,5	0,48	0,46	0,44	0,41
	500	0,51	0,5	0,48	0,46	0,44	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43	0,51	0,49	0,47	0,45	0,42
1,1	200	0,51	0,49	0,47	0,45	0,43	0,5	0,48	0,46	0,44	0,42	0,49	0,47	0,45	0,43	0,4
	300	0,52	0,5	0,48	0,46	0,44	0,51	0,49	0,48	0,45	0,43	0,51	0,49	0,47	0,44	0,42
	400	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,52	0,51	0,49	0,47	0,45	0,52	0,5	0,48	0,46	0,43
	500	0,53	0,51	0,5	0,48	0,46	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,52	0,51	0,49	0,47	0,44
1,2	200	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,52	0,5	0,48	0,46	0,44	0,51	0,49	0,47	0,45	0,42
	300	0,54	0,52	0,5	0,48	0,46	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,52	0,51	0,49	0,46	0,44
	400	0,54	0,53	0,51	0,49	0,47	0,53	0,52	0,51	0,49	0,47	0,54	0,52	0,5	0,48	0,46
	500	0,55	0,53	0,51	0,5	0,48	0,54	0,53	0,51	0,49	0,47	0,54	0,52	0,51	0,49	0,47

Продолжение табл. 8

1	2	3					4					5				
1,3	200	0,54	0,53	0,51	0,49	0,47	0,54	0,52	0,5	0,48	0,46	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45
	300	0,55	0,54	0,52	0,5	0,48	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,54	0,53	0,51	0,49	0,46
	400	—	0,54	0,53	0,51	0,49	—	0,54	0,52	0,51	0,47	0,55	0,54	0,52	0,5	0,48
	500	—	0,55	0,53	0,51	0,49	—	0,55	0,53	0,51	0,49	—	0,54	0,53	0,51	0,49
1,4	200	—	0,54	0,53	0,51	0,49	—	0,54	0,52	0,5	0,48	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47
	300	—	0,55	0,54	0,52	0,5	—	0,55	0,53	0,51	0,49	—	0,54	0,53	0,51	0,49
	400	—	—	0,54	0,53	0,51	—	—	0,54	0,52	0,5	—	0,55	0,54	0,52	0,5
	500	—	—	0,55	0,53	0,51	—	—	0,55	0,53	0,51	—	—	0,55	0,53	0,51
в) для бетона с объемной массой в сухом состоянии 1500 кг/м³																
0,8	200	0,43	0,4	0,38	0,35	0,31	0,41	0,38	0,35	0,32	0,26	0,39	0,36	0,32	0,27	—
	300	0,44	0,42	0,39	0,37	0,33	0,42	0,4	0,37	0,34	0,3	0,41	0,38	0,35	0,31	0,24
	400	0,45	0,43	0,4	0,38	0,35	0,44	0,41	0,39	0,36	0,33	0,42	0,4	0,37	0,34	0,29
	500	0,45	0,43	0,41	0,38	0,35	0,44	0,42	0,4	0,37	0,33	0,43	0,41	0,38	0,35	0,3
0,9	200	0,44	0,42	0,4	0,37	0,34	0,43	0,4	0,38	0,34	0,3	0,41	0,38	0,35	0,31	—
	300	0,45	0,43	0,41	0,38	0,35	0,44	0,42	0,38	0,36	0,33	0,43	0,4	0,37	0,34	0,29
	400	0,46	0,44	0,42	0,4	0,37	0,45	0,43	0,41	0,38	0,35	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33
	500	0,47	0,45	0,43	0,4	0,37	0,46	0,44	0,41	0,39	0,36	0,45	0,43	0,4	0,37	0,34
1	200	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,45	0,42	0,4	0,37	0,33	0,43	0,4	0,37	0,34	0,28
	300	0,47	0,45	0,43	0,4	0,38	0,46	0,44	0,41	0,39	0,35	0,45	0,42	0,4	0,36	0,32
	400	0,48	0,46	0,44	0,42	0,39	0,47	0,45	0,43	0,4	0,37	0,46	0,44	0,41	0,39	0,35
	500	0,48	0,46	0,44	0,42	0,39	0,48	0,46	0,43	0,41	0,38	0,47	0,45	0,42	0,4	0,37
1,1	200	0,48	0,46	0,44	0,41	0,38	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,45	0,43	0,4	0,36	0,32
	300	0,49	0,47	0,45	0,42	0,4	0,48	0,46	0,43	0,41	0,38	0,47	0,44	0,42	0,39	0,35
	400	0,5	0,48	0,46	0,44	0,41	0,49	0,47	0,45	0,42	0,4	0,48	0,46	0,44	0,41	0,38
	500	0,5	0,48	0,46	0,46	0,41	0,49	0,47	**0,45**	0,43	0,4	0,49	0,47	0,44	0,42	0,39

1	2	3					4					5				
1,2	200	0,49	0,48	0,45	0,43	0,4	0,48	0,46	0,44	0,41	0,38	0,47	0,45	0,42	0,39	0,35
	300	0,5	0,49	0,46	0,44	0,42	0,5	0,48	0,45	0,43	0,4	0,48	0,46	0,44	0,41	0,38
	400	0,51	0,5	0,48	0,45	0,43	0,51	0,49	0,47	0,44	0,42	0,5	0,48	0,46	0,43	0,4
	500	0,51	0,5	0,48	0,46	0,43	0,51	0,49	0,47	0,45	0,42	0,5	0,49	0,46	0,44	0,41
1,3	200	0,51	0,49	0,47	0,45	0,42	0,5	0,48	0,46	0,43	0,41	0,49	0,47	0,45	0,42	0,38
	300	0,52	0,5	0,48	0,46	0,44	0,51	0,49	0,47	0,45	0,42	0,51	0,48	0,46	0,44	0,41
	400	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,52	0,51	0,49	0,46	0,44	0,53	0,5	0,48	0,46	0,43
	500	0,54	0,52	0,5	0,48	0,45	0,53	0,52	0,49	0,47	0,45	0,54	0,51	0,49	0,46	0,44
1,4	200	—	—	0,49	0,47	0,45	—	0,5	0,48	0,46	0,43	—	0,49	0,47	0,44	0,41
	300	—	—	0,5	0,48	0,46	—	0,51	0,49	0,47	0,45	—	0,5	0,48	0,46	0,43
	400	—	—	0,51	0,49	0,47	—	0,52	0,51	0,49	0,46	—	0,51	0,5	0,48	0,45
	500	—	—	0,51	0,49	0,47	—	0.52	0,51	0,49	0,47	—	0,52	0,51	0,49	0,46
г) для бетона с объемной массой в сухом состоянии 1600 кг/м³																
0,8	200	0,38	0,35	0,32	0,27	—	0,36	0,32	0,27	—	—	0,32	0,27	0,22	—	—
	300	0,4	0,37	0,34	0,3	0,22	0,37	0,34	0,3	0,23	—	0,35	0,31	0,24	—	—
	400	0,41	0,38	0,35	0,32	0,27	0,39	0,36	0,33	0,28	—	0,37	0,34	0,29	—	—
	500	0,41	0,39	0,36	0,33	0,28	0,4	0,37	0,34	0,3	—	0,38	0,35	0,31	0,24	—
0,9	200	0,4	0,37	0,34	0,3	—	0,38	0,35	0,3	—	—	0,35	0,3	—	—	—
	300	0,41	0,39	0,36	0,32	0,27	0,39	0,37	0,33	0,28	0,27	0,37	0,34	0,29	—	—
	400	0,43	0,4	0,38	0,34	0,3	0,41	0,38	0,35	0,31	0,24	0,39	0,36	0,32	0,27	—
	500	0,43	0,4	0,38	0,35	0,31	0,42	0,39	0,36	0,32	0,27	0,4	0,37	0,34	0,29	—
1	200	0,42	0,39	0,36	0,33	0,3	0,4	0,37	0,33	0,27	—	0,37	0,34	0,28	—	—
	300	0,43	0,41	0,38	0,35	0,32	0,42	0,39	0,35	0,31	0,25	0,39	0,36	0,32	0,25	—
	400	0,44	0,42	0,4	0,37	0,34	0,43	0,4	0,37	0,34	0,3	0,41	0,39	0,35	0,31	0,24
	500	0,45	0,42	0,4	0,37	0,34	0,44	0,41	0,38	0,35	0,31	0,42	0,4	0,36	0,32	0,25

Продолжение табл. 8

1	2	3					4					5				
1,1	200	0,44	0,41	0,39	0,35	0,31	0,42	0,39	0,35	0,31	0,25	0,4	0,36	0,32	0,25	—
	300	0,45	0,43	0,4	0,37	0,33	0,43	0,41	0,38	0,34	0,29	0,42	0,39	0,35	0,29	—
	400	0,46	0,44	0,41	0,39	0,35	0,45	0,43	0,4	0,37	0,32	0,44	0,41	0,38	0,34	0,27
	500	0,46	0,44	0,42	0,39	0,36	0,45	0,43	0,4	0,37	0,34	0,44	0,42	0,39	0,35	0,3
1,2	200	0,46	0,43	0,41	0,38	0,34	0,44	0,41	0,38	0,35	0,28	0,42	0,39	0,35	0,29	—
	300	0,47	0,45	0,42	0,39	0,35	0,46	0,43	0,4	0,37	0,3	0,44	0,41	0,38	0,34	0,27
	400	0,48	0,46	0,43	0,41	0,37	0,47	0,45	0,42	0,30	0,33	0,46	0,43	0,4	0,37	0,32
	500	0,48	0,46	0,44	0,42	0,38	0,48	0,45	0,43	0,4	0,35	0,46	0,44	0,41	0,38	0,34
1,3	200	0,48	0,45	0,43	0,4	—	0,46	0,44	0,41	0,37	0,33	0,44	0,42	0,38	0,34	0,37
	300	0,49	0,47	0,44	0,42	0,38	0,47	0,45	0,43	0,4	0,36	0,46	0,44	0,41	0,37	0,32
	400	0,5	0,48	0,45	0,43	0,4	0,49	0,47	0,44	0,41	0,38	0,48	0,46	0,43	0,41	0,36
	500	0,5	0,48	0,46	0,43	0,4	0,49	0,47	0,45	0,42	0,39	0,49	0,46	0,44	0,41	0,37
1,4	200	0,49	0,47	0,45	0,42	0,39	0,48	0,46	0,43	0,4	0,36	0,47	0,44	0,41	0,37	0,31
	300	0,5	0,48	0,46	0,44	0,41	0,5	0,47	0,45	0,42	0,39	0,48	0,46	0,43	0,4	0,36
	400	0,51	0,49	0,47	0,45	0,42	0,51	0,49	0,46	0,44	0,41	0,5	0,48	0,45	0,43	0,39
	500	0,52	0,5	0,48	0,45	0,43	0,51	0,49	0,47	0,44	0,42	0,51	0,48	0,46	0,43	0,4
1,5	200	0,51	0,49	0,47	0,45	0,42	0,5	0,48	0,46	0,42	0,38	0,49	0,46	0,44	0,4	0,33
	300	0,52	0,5	0,48	0,46	0,43	0,51	0,49	0,47	0,44	0,41	0,51	0,48	0,46	0,43	0,39
	400	0,53	0,51	0,49	0,47	0,45	0,52	0,5	0,49	0,46	0,43	0,52	0,5	0,48	0,45	0,42
	500	0,53	0,52	0,5	0,47	0,45	0,52	0,51	0,49	0,47	0,44	0,53	0,51	0,48	0,46	0,43
1,6	200	0,53	0,51	0,49	0,47	0,43	0,52	0,5	0,48	0,45	0,4	0,51	0,49	0,46	0,44	0,36
	300	0,54	0,52	0,5	0,48	0,45	0,53	0,51	0,49	0,47	0,44	0,53	0,5	0,48	0,46	0,43
	400	0,55	0,53	0,51	0,49	0,47	0,55	0,53	0,51	0,49	0,46	0,54	0,52	0,5	0,48	0,45
	500	0,55	0,53	0,52	0,49	0,47	0,55	0,53	0,51	0,49	0,46	0,55	0,53	0,51	0,48	0,45

Продолжение табл. 8

1	2	3					4					5				
д) для бетона с объемной массой в сухом состоянии 1700 кг/м³																
1,0	200	0,37	0,33	0,28	—	—	0,33	0,28	—	—	—	0,28	—	—	—	—
	300	0,39	0,35	0,31	0,26	—	0,36	0,32	0,26	—	—	0,32	—	—	—	—
	400	0,4	0,37	0,33	0,28	—	0,38	0,34	0,29	—	—	0,35	0,31	—	—	—
	500	0,4	0,37	0,34	0,29	—	0,38	0,35	0,31	0,25	—	0,36	0,32	0,24	—	—
1,1	200	0,39	0,36	0,31	—	—	0,36	0,32	—	—	—	0,32	—	—	—	—
	300	0,41	0,38	0,34	0,28	—	0,38	0,35	0,29	—	—	0,35	0,3	—	—	—
	400	0,42	0,39	0,35	0,31	—	0,4	0,37	0,33	0,24	—	0,38	0,34	0,27	—	—
	500	0,42	0,4	0,36	0,32	0,24	0,41	0,38	0,34	0,28	—	0,39	0,35	0,3	—	—
1,2	200	0,42	0,38	0,36	0,34	0,25	0,39	0,35	0,29	—	—	0,35	0,29	—	—	—
	300	0,43	0,4	0,38	0,36	0,27	0,41	0,37	0,33	0,3	—	0,38	0,34	0,28	—	—
	400	0,44	0,41	0,4	0,38	0,29	0,42	0,39	0,36	0,33	0,24	0,4	0,37	0,32	0,25	—
	500	0,44	0,42	0,4	0,39	0,3	0,43	0,4	0,37	0,35	0,29	0,41	0,38	0,34	0,28	—
1,3	200	0,43	0,4	0,37	0,33	—	0,41	0,38	0,33	0,26	—	0,38	0,34	0,27	—	—
	300	0,45	0,42	0,39	0,35	0,29	0,43	0,4	0,36	0,3	0,24	0,41	0,37	0,32	0,24	—
	400	0,46	0,43	0,41	0,37	0,33	0,44	0,42	0,38	0,34	0,28	0,42	0,4	0,36	0,29	—
	500	0,46	0,44	0,41	0,38	0,33	0,45	0,42	0,39	0,36	0,3	0,43	0,41	0,37	0,32	0,24
1,4	200	0,45	0,43	0,4	0,36	0,29	0,43	0,4	0,37	0,32	0,27	0,41	0,37	0,31	0,24	—
	300	0,47	0,44	0,41	0,38	0,33	0,45	0,42	0,39	0,35	0,3	0,43	0,4	0,36	0,33	0,29
	400	0,48	0,45	0,43	0,4	0,36	0,47	0,44	0,41	0,37	0,32	0,45	0,42	0,39	0,37	0,33
	500	0,48	0,46	0,43	0,4	0,36	0,47	0,45	0,42	0,38	0,34	0,46	0,43	0,4	0,38	0,35
1,5	200	0,47	0,45	0,42	0,39	0,34	0,46	0,43	0,4	0,35	0,26	0,44	0,4	0,36	0,29	—
	300	0,49	0,46	0,44	0,4	0,37	0,47	0,45	0,42	0,38	0,32	0,46	0,43	0,39	0,34	0,27
	400	0,5	0,47	0,45	0,42	0,39	0,49	0,46	0,44	0,4	0,36	0,48	0,45	0,42	0,38	0,32
	500	0,5	0,48	0,45	0,43	0,39	0,49	0,47	0,44	0,41	0,37	0,48	0,46	0,43	0,39	0,34
1,6	200	0,49	0,45	0,44	0,41	0,37	0,48	0,45	0,42	0,39	0,32	0,46	0,43	0,4	0,34	0,24
	300	0,5	0,48	0,46	0,43	0,4	0,49	0,47	0,44	0,41	0,37	0,48	0,45	0,42	0,38	0,31

Продолжение табл. 8

1	2	3					4					5				
1,6	400	0,51	0,49	0,47	0,45	0,41	0,51	0,49	0,46	0,43	0,39	0,5	0,48	0,45	0,41	0,37
	500	0,52	0,5	0,47	0,45	0,42	0,51	0,49	0,47	0,44	0,4	0,51	0,48	0,46	0,43	0,39
1,7	200	0,51	0,49	0,47	0,44	0,4	0,5	0,48	0,45	0,42	0,37	0,49	0,46	0,43	0,39	—
	300	0,52	0,5	0,48	0,45	0,42	0,52	0,49	0,47	0,44	0,4	0,51	0,48	0,45	0,42	0,37
	400	0,53	0,51	0,49	0,47	0,44	0,53	0,51	0,48	0,46	0,42	0,52	0,5	0,47	0,44	0,41
	500	0,54	0,52	0,5	0,47	0,44	0,53	0,51	0,49	0,46	0,43	0,53	0,51	0,48	0,45	0,42
1,8	200	0,53	0,51	0,49	0,46	0,43	0,52	0,5	0,48	0,45	0,41	0,51	0,49	0,46	0,42	0,37
	300	—	0,52	0,5	0,48	0,45	0,53	0,51	0,49	0,46	0,43	0,53	0,51	0,48	0,45	0,41
	400	—	0,53	0,51	0,49	0,46	—	0,52	0,51	0,48	0,45	—	0,52	0,5	0,47	0,44
	500	—	0,53	0,51	0,49	0,47	—	0,52	0,52	0,49	0,46	—	0,52	0,51	0,48	0,45
1,9	200	—	0,53	0,51	0,49	0,46	—	0,52	0,5	0,47	0,44	—	0,52	0,49	0,46	0,42
	300	—	—	0,52	0,5	0,47	—	—	0,52	0,49	0,46	—	—	0,51	0,48	0,45
	400	—	—	0,53	0,51	0,49	—	—	0,53	0,51	0,48	—	—	0,52	0,5	0,47
	500	—	—	0,53	0,51	0,49	—	—	0,53	0,51	0,49	—	—	0,52	0,51	0,48
е) для бетона с объемной массой в сухом состоянии 1800 кг/м³																
1,1	200	0,32	0,24	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	300	0.35	0,29	—	—	—	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	400	0,36	0,32	0,24	—	—	0,33	0,26	—	—	—	0,27	—	—	—	—
	500	0,37	0,33	0,26	—	—	0,34	0,28	—	—	—	0,3	—	—	—	—
1,2	200	0,35	0,3	—	—	—	0,29	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	300	0,37	0,33	—	—	—	0,33	0.26	—	—	—	—	—	—	—	—
	400	0,39	0,35	0,3	—	—	0,36	0,31	—	—	—	0,32	—	—	—	—
	500	0,39	0,36	0,31	0,26	—	0,37	0,32	—	—	—	0,34	—	—	—	—
1,3	200	0,38	0,33	—	—	—	0,33	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	300	0,39	0,36	0,3	—	—	0,36	0,31	—	—	—	0,32	—	—	—	—
	400	0,41	0,38	0,33	0,25	—	0,39	0,35	0,26	—	—	0,36	0,29	—	—	—
	500	0,41	0,38	0,34	0,26	—	0,4	0,36	0,29	—	—	0,37	0,32	—	—	—

Продолжение табл. 8

1	2	3					4					5				
1,4	200	0,4	0,36	0,31	0,25	—	0,37	0,31	—	—	—	0,31	0,25	—	—	—
	300	0,42	0,38	0,34	0,27	—	0,39	0,35	—	—	—	0,36	0,3	—	—	—
	400	0,43	0,4	0,37	0,31	0,25	0,41	0,38	0,32	—	—	0,39	0,34	—	—	—
	500	0,44	0,41	0,37	0,32	0,26	0,42	0,39	0,34	0,26	—	0,4	0,36	—	—	—
1,5	200	0,43	0,39	0,35	—	—	0,4	0,35	—	—	—	0,36	—	—	—	—
	300	0,44	0,41	0,37	0,31	—	0,42	0,38	0,33	—	—	0,39	0,34	—	—	—
	400	0,45	0,43	0,39	0,35	—	0,44	0,41	0,36	0,28	—	0,42	0,38	0,31	—	—
	500	0,46	0,43	0,4	0,36	—	0,44	0,41	0,38	0,31	—	0,43	0,39	0,34	—	—
1,6	200	0,45	0,42	0,38	0,32	—	0,43	0,39	0,33	—	—	0,4	0,34	0,24	—	—
	300	0,45	0,43	0,4	0,37	0,26	0,45	0,41	0,37	0,28	—	0,42	0,38	0,3	—	—
	400	0,47	0,45	0,42	0,38	0,33	0,46	0,43	0,4	0,35	0,26	0,45	0,41	0,37	0,27	—
	500	0,48	0,45	0,42	0,38	0,33	0,47	0,44	0,41	0,36	0,29	0,46	0,43	0,38	0,31	—
1,7	200	0,47	0,41	0,41	0,37	0,28	0,45	0,42	0,38	0,29	—	0,43	0,39	0,31	—	—
	300	0,48	0,46	0,43	0,39	0,33	0,47	0,44	0,4	0,35	0,26	0,45	0,42	0,37	0,3	—
	400	0,5	0,47	0,44	0,41	0,37	0,49	0,46	0,43	0,39	0,31	0,47	0,44	0,41	0,35	0,27
	500	0,5	0,48	0,45	0,42	0,37	0,49	0,47	0,44	0,4	0,34	0,46	0,45	0,42	0,37	0,3
1,8	200	0,49	0,47	0,44	0,4	0,34	0,48	0,45	0,41	0,36	0,25	0,48	0,42	0,37	0,29	—
	300	0,51	0,48	0,45	0,42	0,38	0,49	0,47	0,44	0,39	0,3	0,48	0,45	0,41	0,35	0,27
	400	0,52	0,49	0,47	0,44	0,4	0,51	0,48	0,46	0,42	0,37	0,5	0,47	0,44	0,4	0,32
	500	0,52	0,5	0,47	0,44	0,41	0,52	0,49	0,46	0,43	0,39	0,51	0,48	0,45	0,41	0,35
1,9	200	0,52	0,49	0,46	0,43	0,39	0,5	0,48	0,44	0,4	0,32	0,49	0,46	0,42	0,35	0,27
	300	—	0,5	0,48	0,45	0,41	0,52	0,49	0,46	0,43	0,38	0,51	0,48	0,45	0,4	0,32
	400	—	0,52	0,49	0,46	0,43	0,53	0,51	0,48	0,45	0,41	0,53	0,5	0,47	0,44	0,38
	500	—	0,52	0,49	0,47	0,44	—	0,52	0,49	0,46	0,42	0,53	0,51	0,48	0,45	0,4
2	200	—	0,51	0,49	0,46	0,42	0,53	0,5	0,47	0,44	0,39	0,52	0,49	0,45	0,41	0,36
	300	—	0,53	0,5	0,47	0,44	—	0,52	0,49	0,46	0,42	—	0,51	0,48	0,44	0,39
	400	—	—	0,52	0,49	0,46	—	0,53	0,51	0,48	0,45	—	0,53	0,5	0,47	0,42
	500	—	—	0,53	0,49	0,46	—	—	0,52	0,49	0,45	—	0,53	0,51	0,48	0,44

Таблица 9

Расходы заполнителей на 1 м³ бетона в зависимости от жесткости (подвижности) бетонной смеси, расхода цемента и наибольшей крупности зерен заполнителя

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Расход цемента, кг	Общий расход крупных и мелких заполнителей, л	В том числе расход отдельных фракций заполнителя (в насыпном виде), л						
			песка фракции, мм		общий расход песка	пористого гравия фракций, мм			общий расход крупного заполнителя
			до 1,2	1,2—5		5—10	10—20	20—40	
Осадка конуса 5—12 см									
10	250	1210	350	430	780	430	—	—	430
	350	1150	325	395	725	430	—	—	430
	450	1100	300	370	670	430	—	—	430
	550	1060	280	950	630	430	—	—	430
20	250	1290	340	390	710	230	350	—	580
	350	1230	290	360	660	230	350	—	580
	450	1180	270	330	600	230	350	—	580
	550	1140	250	310	560	230	350	—	580
40	250	1370	280	340	620	150	225	375	750
	350	1310	250	310	560	150	225	375	750
	450	1260	230	280	510	150	225	375	750
	550	1220	210	260	470	150	225	375	750
Осадка конуса 1—5 см или жесткость 30 с и менее									
10	250	1240	320	390	710	530	—	—	530
	350	1180	290	340	650	530	—	—	530
	450	1130	270	330	600	530	—	—	530
	550	1090	250	310	560	530	—	—	530
20	250	1360	290	350	640	290	430	—	720
	350	1300	260	320	580	290	430	—	720
	450	1250	240	290	530	290	430	—	720
	550	1210	220	260	490	290	430	—	720
40	250	1390	250	300	550	170	250	420	840
	350	1330	220	270	490	170	250	420	840
	450	1280	195	245	440	170	250	420	840
	550	1240	180	220	400	170	250	420	840
Жесткость более 30 с									
10	250	1290	290	350	640	650	—	—	650
	350	1230	260	320	580	650	—	—	650
	450	1180	240	290	530	650	—	—	650
	550	1140	220	270	490	650	—	—	650

Продолжение табл. 9

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Расход цемента, кг	Общий расход крупных и мелких заполнителей, л	В том числе расход отдельных фракций заполнителя (в насыпном виде), л						
			песка фракции, мм		общий расход песка	пористого гравия фракций, мм			общий расход крупного заполнителя
			до 1,2	1,2—5		5—10	10—20	20—40	
20	250	1320	255	315	570	300	450	—	750
	350	1260	230	280	510	300	450	—	750
	450	1210	205	255	460	300	450	—	750
	550	1170	190	230	420	300	450	—	750
40	250	1340	235	265	480	175	255	430	860
	350	1280	190	230	420	175	255	430	860
	450	1230	165	205	370	175	255	430	860
	550	1190	150	180	330	175	255	430	860

Примечания: 1. При поставке заполнителей, разделенных на меньшее количество фракций, расходы их для каждой фракции определяются путем суммирования объемов промежуточных фракций, определяемых дополнительным рассевом.

2. При использовании пористого щебня расходы каждой фракции песка увеличиваются до 5%.

3. При принятых расходах цемента, отличающихся от указанных, расходы заполнителя принимаются по интерполяции.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ПОДБОР И КОРРЕКТИРОВКА СОСТАВА БЕТОНОВ НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

1. Подбор составов бетонов на пористых заполнителях с применением математико-статистических методов рекомендуется производить при поиске оптимальных составов бетонов двух или трех марок (например, бетонов марок 150, 200 и 250 или 250, 300 и 400 и т. д.) при построении базовых зависимостей, используемых для производственной корректировки составов бетонов, а также при организации производства изделий по новой технологии.

2. Сущность подбора составов бетона с применением математико-статистических методов состоит в том, чтобы установить зависимость свойств бетонов от расходов и свойств исходных материалов в виде математических уравнений и далее использовать эти уравнения для назначения и поиска оптимальных составов.

Для установления этих зависимостей выполняются специальные эксперименты в лабораторных условиях, а затем полученные зависимости уточняются в производственных условиях.

3. Лабораторные эксперименты включают следующие этапы:

расчет основного исходного состава бетонной смеси;

выбор факторов;

выбор интервалов варьирования факторов;

выбор плана и условий проведения экспериментов;

расчет всех составов бетонной смеси и проведение экспериментов по выбранному плану;

обработку результатов экспериментов с получением математических зависимостей свойств бетона и бетонной смеси от выбранных факторов.

4. Основной исходный состав бетона назначается в соответствии с указаниями разделов 2 и 3 настоящего Руководства. В обязательном порядке основной состав бетона должен быть проверен и откорректирован опытными затворениями с целью обеспечения требуемой удобоукладываемости бетонной смеси.

Таблица 10

Рекомендуемые значения интервалов варьирования факторов

Факторы	Интервалы варьирования
Расход цемента	10—15% величины основного уровня
Расходы песка и крупного заполнителя	40—60 л насыпного объема
Объемная масса крупного и мелкого заполнителей	10—20% величины основного уровня
Отношение объема одной фракции заполнителя к другой (например, объема фр. 5—10 мм к объему фракций 10—20 мм)	50—70% величины основного уровня
Расход добавок	40—60% величины основного уровня

Примечание. При подборе составов бетонов одновременно нескольких марок за основной уровень факторов принимаются их значения для средней марки бетона.

5. В качестве факторов (варьируемых в экспериментах величин) в зависимости от условий задачи на подбор могут приниматься расходы цемента, крупного и мелкого заполнителя, показатели качества крупного и мелкого заполнителей, соотношения между объ-

емами отдельных фракций крупного или мелкого заполнителей, расходы различного рода добавок и т. п.

Примеры выбора факторов при решении конкретных задач подбора составов бетона приведены в приложении 6.

6. Значение фактора в основном исходном составе бетона называется основным уровнем.

При проведении опытов все факторы варьируют только на двух уровнях: верхнем и нижнем, отстоящих от основного уровня в бо́льшую и меньшую сторону на одинаковую величину, называемую интервалом варьирования.

Рекомендуемые значения интервалов варьирования факторов приведены в табл. 10.

7. Для упрощения записей и последующих расчетов верхний уровень факторов обозначается символом (+1), а нижний уровень — символом (—1). Такая запись равносильна переводу факторов в новый кодовый масштаб по формуле

$$x_i = \frac{\widetilde{X}_i - \widetilde{X}_{i_0}}{\Delta\widetilde{X}_i}, \qquad (24)$$

где x_i — значение i-го фактора в новом, кодовом масштабе;

$\widetilde{X}_i$ — значение i-го фактора в старом натуральном масштабе;

$\widetilde{X}_{i0}$ — основной уровень i-го фактора,

$\Delta\widetilde{X}_i$ — интервал варьирования i-го фактора;

8. Эксперименты (опытные замесы) в зависимости от количества факторов выполняются по одному из планов, помещенных в табл. 11—14.

Таблица 11

План проведения экспериментов (опытных замесов) при числе факторов, равном 2

№ опытов	Матрица планирования		Парные произведения	Свойства бетона		
	x_1	x_2	x_1x_2	y_{i_1}	y_{i_2}	y_{i_3}
1	2	3	4	5	6	7 . . .
1	+1	—1	—1			
2	—1	—1	+1			
3	—1	+1	—1			
4	+1	+1	+1			

Первая графа табл. 11 задает порядок выполнения опытов. Во второй и третьей графе помещены значения соответственно первого (x_1) и второго (x_2) факторов. Эти графы задают условия проведения опытов. Так, согласно плану в первом опыте фактор $x_1 = +1$ должен устанавливаться на верхнем уровне, а фактор $x_2 = -1$ — на нижнем.

Четвертая графа (x_1x_2) получена путем перемножения элементов первого столбца на соответствующие элементы второго столбца. Столбец 4 необходим только для обработки результатов опытов.

Таблица 12

План проведения экспериментов (опытов) при числе факторов, равном трем

№ опытов	Матрица планирования			Парные произведения			Свойства бетона
	x_1	x_2	x_3	x_1x_2	x_1x_3	x_2x_3	y_i ...
1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	
2	−1	+1	+1	−1	−1	+1	
3	+1	+1	−1	+1	−1	−1	
4	+1	+1	+1	−1	+1	−1	
5	−1	+1	−1	−1	+1	−1	
6	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
7	−1	−1	−1	+1	+1	+1	
8	+1	−1	−1	−1	−1	+1	

В пятой, шестой и т. д. графах таблицы помещаются результаты опытов: результаты определений свойств бетона, фактические

Таблица 13

План проведения экспериментов при числе факторов, равном четырем

№ опытов	Матрица планирования				Парные произведения						Свойства бетона y_i ...
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_2x_3	x_2x_4	x_3x_4	
1	+1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	
2	−1	−1	+1	+1	+1	−1	−1	−1	−1	+1	
3	+1	−1	+1	−1	−1	+1	−1	−1	+1	−1	
4	−1	+1	+1	+1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	
5	+1	+1	−1	+1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	
6	+1	−1	+1	+1	−1	+1	+1	−1	−1	+1	
7	−1	+1	−1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	+1	
8	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	−1	+1	−1	
9	−1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
10	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
11	+1	+1	−1	−1	+1	−1	−1	−1	−1	+1	
12	−1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	
13	+1	+1	+1	−1	+1	+1	−1	+1	−1	−1	
14	−1	+1	+1	−1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	
15	−1	−1	−1	+1	+1	+1	−1	+1	−1	−1	
16	+1	−1	−1	+1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	

расходы цемента, отношение фактического расхода цемента к первоначальному $\frac{Ц_ф}{Ц_н}$ и т. д.

Аналогичным образом построены табл. 12, 13 и 14.

Таблица 14

План проведения экспериментов при числе факторов, равном пяти

№ опытов	Матрица планирования					Парные произведения									Свойства бетона y_i ...
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_1x_2	x_1x_3	x_1x_4	x_1x_5	x_2x_3	x_2x_4	x_2x_5	x_3x_4	x_3x_5	x_4x_5	
1	+1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
2	−1	−1	+1	+1	+1	+1	−1	−1	−1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	
3	+1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	−1	+1	−1	
4	−1	+1	+1	+1	−1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	−1	+1	−1	−1	
5	+1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	−1	+1	−1	−1	+1	−1	
6	+1	−1	+1	+1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	
7	−1	+1	−1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	
8	−1	+1	−1	+1	+1	−1	+1	−1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	+1	
9	−1	−1	−1	−1	+1	+1	+1	+1	−1	+1	+1	−1	+1	−1	−1	
10	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
11	+1	+1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	+1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	
12	−1	−1	+1	−1	−1	+1	−1	+1	+1	−1	+1	+1	−1	−1	+1	
13	+1	+1	+1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	+1	−1	−1	−1	−1	+1	
14	−1	+1	+1	−1	+1	−1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	
15	−1	−1	−1	+1	−1	+1	+1	−1	+1	+1	−1	+1	−1	+1	−1	
16	+1	−1	−1	+1	+1	−1	−1	+1	+1	+1	−1	−1	−1	−1	+1	

9. В соответствии с правилами, изложенными в гл. 3, с учетом поставленной задачи для каждого опыта рассчитываются составы бетонов.

При проведении расчета составов помимо формул, приведенных в гл. 3, следует использовать нижеприведенные дополнительные зависимости.

В формулу (4) для расчета расхода воды вместо табличного начального расхода воды B_0 необходимо подставлять экспериментально уточненный по основному составу начальный расход воды $B_0^у$

$$B_0^у = B^у - B_1 - B_2 - B_3^{пл} - B_3^{пор}, \qquad (25)$$

где $B^у$ — уточненный экспериментально расход воды в основном составе;

B_1, B_2, $B_3^{пл}$, $B_3^{пор}$ — поправки по воде для основного состава.

При расчете составов, для которых не задана объемная масса бетона в сухом состоянии, поправка на водопотребность плотного песка $B_3^{пл}$ условно принимается равной поправке для основного

состава. Расход плотного песка (*П* или $П_{пл}$) в кг на 1 м³ бетона в этом случае рассчитывается по формуле

$$П_{пл} = \gamma_{П}^{пл}\left[1000\,(1-\varphi) - \frac{Ц}{\gamma_{Ц}} - \frac{П_{пор}}{\gamma_{ЗП}} - В\right]. \qquad (26)$$

10. После проведения опытов в последовательности, указанной планом (первая графа табл. 11—14), их повторяют в обратной последовательности, получая таким образом по два наблюдения (результата) в каждом опыте.

Объем замеса в каждом опыте устанавливают с учетом числа определяемых характеристик бетона (прочностей при сжатии, растяжении, изгибе и т. д.). Приготовление бетонной смеси, формование образцов, испытание бетонной смеси и затвердевшего бетона, вычисление фактических расходов материалов выполняются в обычном порядке в соответствии с указаниями раздела 4.

11. Результаты опытов обрабатывают методами математической статистики, получая при этом в алгебраической форме уравнения, выражающие зависимости исследуемых свойств бетона от исходных факторов:

а) для двухфакторного эксперимента

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2; \qquad (27)$$

б) для трехфакторного эксперимента

$$\hat{y} = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3; \qquad (28)$$

в) для четырехфакторного эксперимента

$$\hat{y}_j = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_{12}x_1x_2 + \\ + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{34}x_3x_4; \qquad (29)$$

г) для пятифакторного эксперимента

$$\hat{y}_j = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 + \\ + b_{15}x_1x_5 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 + b_{25}x_2x_5 + b_{34}x_3x_4 + b_{35}x_3x_5 + b_{45}x_4x_5 = \\ = b_0 + \sum_{i=1}^{l} b_ix_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j\neq i}}^{l} b_{ij}x_ix_j, \qquad (30)$$

где $i, j = 1,2, \ldots, l$ — порядковые номера факторов;

$\hat{y}$ — исследуемое свойство бетона;

$x_1, x_2, \ldots, x_l$ — исходные факторы;

$b_0, b_1, b_2, b_3, \ldots, b_{ij}$ — коэффициенты, которые вычисляются по следующим формулам:

$$b_0 = \frac{\sum_{u=1}^{N} \bar{y}_u}{N}; \qquad (31)$$

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{iu}\bar{y}_u}{N}; \qquad (32)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_{iu} x_{ju} \bar{y}_u}{N}, \qquad (33)$$

где $\bar{y}_u$ — среднее значение исследуемого свойства бетона в u-м опыте;

x_{iu} — значение фактора x_i в u-м опыте;

x_{ju} — значение фактора x_j в u-м опыте ($j \neq i$);

N — количество опытов по плану (для двухфакторного эксперимента $N=4$; для трехфакторного эксперимента $N=8$; для четырехфакторного и пятифакторного экспериментов $N=16$).

12. После получения уравнений производятся проверки:
отличия коэффициентов b_i от нуля;
пригодности уравнений для описания исследуемых зависимостей.

Данные проверки выполняются в следующей последовательности:

а) в каждом опыте вычисляют абсолютное значение разности между двумя параллельными наблюдениями по формуле

$$l_u = | y_{1u} - y_{2u} |; \qquad (34)$$

б) вычисляют среднее квадратическое отклонение, характеризующее ошибку опыта по формуле

$$S_{\bar{y}} = \frac{\sum_{u=1}^{N} l_u}{1{,}585N}; \qquad (35)$$

в) вычисляют доверительный интервал для коэффициентов уравнений по формуле

$$\Delta b_i = \frac{t S_{\bar{y}}}{\sqrt{N}}, \qquad (36)$$

где t — значение критерия Стьюдента, принимаемое по табл. 15 в зависимости от числа степеней свободы $f_{\bar{y}}$, с которым определялось $S_{\bar{y}}$. При двукратном повторении каждого опыта число степеней свободы равно числу опытов N

$$f_{\bar{y}} = N \ldots \qquad (37)$$

Таблица 15

Значение критерия Стьюдента t для 5% уровня значимости

Число степеней свободы $f_{\bar{y}} = N$	4	8	10	12	14	16	20	25	30
Критерий Стьюдента (t)	2,78	2,31	2,23	2,18	2,15	2,12	2,09	2,06	2,04

г) сравнивают абсолютные значения коэффициентов уравнения с доверительным интервалом, вычисленным по формуле (36). Если абсолютное значение коэффициента превышает доверительный интервал, его признают значимым. Если же абсолютное значение коэффициента меньше доверительного интервала, его принимают равным нулю, а соответствующий ему член уравнения отбрасывают. После отбрасывания незначимых членов получают уточненное уравнение;

д) в целях проверки пригодности полученного уточненного уравнения вычисляют дисперсию по формуле

$$S^2_{\text{пр}} = \frac{\sum_{u=1}^{N} (\bar{y}_u - \hat{y}_u)^2}{N - k}, \qquad (38)$$

где $\bar{y}_u$ — среднее значение исследуемого свойства бетона в u-м опыте;

$\hat{y}_u$ — значение исследуемого свойства бетона в u-м опыте, вычисленное по уточненному уравнению;

k — количество коэффициентов, включая b_0, в уравнении после отбрасывания незначимых коэффициентов (приравненных нулю);

ж) вычисляют эмпирическое значение $F_э$-критерия по формуле

$$F_э = \frac{S^2_{\text{пр}}}{S^2_{\bar{y}}} \qquad (39)$$

и сравнивают с табличным значением $F_{\text{табл.}}$ (табл. 16) для степеней свободы, с которыми определялась $S^2_{\text{пр}}$ и $S^2_{\bar{y}}$. Число степеней свободы, соответствующее $S^2_{\text{пр}}$, вычисляется по формуле

$$f_{\text{пр}} = N - k. \qquad (40)$$

Таблица 16

Значения F-критерия для 5% уровня значимости

$f_{\text{пр}}$	F-критерий при $f_{\bar{y}}$			$f_{\text{пр}}$	F-критерий при $f_{\bar{y}}$		
	4	8	16		4	8	16
1	7,71	5,32	4,49	8	6,04	3,44	2,59
2	6,94	4,46	3,63	9	6	3,39	2,54
3	6,59	4,07	3.24	10	5,96	3,35	2,49
4	6,39	3,84	3,01	11	5,91	3,28	2,42
5	6,26	3,69	2,85	15	5,86	3,22	2,35
6	6,16	3,58	2,74	20	5,8(	3,15	2,28
7	6,09	3,50	2,66				

Уравнение признается пригодным, если $F_э < F_{табл}$, в противном случае оно считается непригодным, и его не рекомендуется использовать в дальнейшем.

13. Прежде чем использовать полученные уравнения для решения поставленных задач, необходимо в производственных условиях выполнить корректировку расхода воды и коэффициентов $в_0$. Корректировка производится в соответствии с указаниями пп. 14 и 15.

14. Корректировка расхода воды для обеспечения требуемой подвижности бетонной смеси производится обычным путем. Из материалов, отвешенных в соответствии с лабораторным составом, в производственной бетономешалке приготавливают бетонную смесь. После выдерживания смеси в течение времени, необходимого для транспортирования и укладки, в соответствии с указаниями ГОСТ 11051—70 определяют жесткость (подвижность) бетонной смеси и выносят решение об изменении расхода воды. Если принимается решение увеличить (или уменьшить) объем воды на величину ΔV, то объем зерен мелкого заполнителя соответственно уменьшают (или увеличивают) на ту же величину ΔV; расходы цемента и крупного заполнителя оставляют неизменными.

15. Для уточнения величины коэффициента $в_0$ в производственных условиях приготавливают подряд 10 замесов бетонной смеси с откорректированным расходом воды. Из приготовленных смесей отбирают пробы бетона, которые испытывают с определением свойств бетона и бетонной смеси в соответствии с указаниями ГОСТ 11050—64 и 11051—70. По всем 10 замесам вычисляют средние арифметические значения показателей свойств бетона

$$\overline{y_0} = \frac{y_1 + y_2 + \cdots + y_{10}}{10} \tag{41}$$

и средние квадратические отклонения:

$$S_0 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (y_i - \overline{y_0})^2}{9}}, \tag{42}$$

где y_1, y_2, ..., y_{10} — показатели свойства бетона в первом, втором, ..., десятом замесах.

Для условий приготовления данного состава по соответствующим уравнениям вычисляют теоретические значения показателей свойств бетона $\hat{y}_0$.

Далее определяют абсолютное значение разницы между $\overline{y_0}$ и $\hat{y}_0$ и сравнивают его с величиной 0,753 S_0.

Если
$$|\overline{y_0} - \hat{y}_0| \leqslant 0{,}753\, S_0, \tag{43}$$

то разница между $\overline{y_0}$ и $\hat{y}_0$ признается несущественной и уточнение коэффициента $в_0$ не производится.

Если
$$|\overline{y_0} - \hat{y}_0| > 0{,}753\, S_0, \tag{44}$$

то разницу между $\overline{y_0}$ и $\hat{y}_0$ признают существенной, а коэффициент $в_0$ в уравнении меняют на величину

$$\Delta в_0 = \overline{y_0} - \hat{y}_0, \tag{45}$$

т. е. $в_0$ увеличивают на $\Delta в_0$, если эта величина положительная, и уменьшают, если она отрицательная.

16. Уточненные производственными экспериментами уравнения могут использоваться для назначения состава бетона данной марки и данной объемной массы; для поиска оптимального состава бетона, например с минимально возможной объемной массой; для корректировки составов бетона в производственных условиях, если имеется надежная информация об изменениях свойств исходных материалов. В приложении 6 приводится пример применения полученных уравнений для указанных целей.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ТРЕБОВАНИЯ К КОНТРОЛЬНЫМ ОБРАЗЦАМ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРОЧНОСТИ ЛЕГКОГО БЕТОНА И К ФОРМАМ ДЛЯ ИХ ИЗГОТОВЛЕНИЯ

1. Формы для изготовления образцов размером 15×15×15 или 10×10×10 см должны быть жесткими и не должны деформироваться во время формования образцов и тепловлажностной обработки. Соединения элементов форм между собой должны быть плотными, исключающими потери «цементного молока» или воды при формовании.

Внутренние поверхности форм должны быть строганными (класс чистоты поверхности ∇3 по ГОСТ 2789—59 «Шероховатость поверхности»). Отклонение внутренних поверхностей форм от плоскости должно быть не более 0,1 мм. Допускаемые отклонения от внутренних размеров собранных форм по длине ребер не должны превышать ±1%.

Углы между всеми стенками должны быть прямыми. Допускается отклонение от прямого угла на такой угол, тангенс которого не превышает 0,005, что соответствует отклонению не более 0,75 мм по длине ребра куба 150 мм или разнице диагоналей граней не более 1 мм, а для кубов с ребром 100 мм соответственно — 0,5 мм для длины ребра и 0,7 мм — для разницы длин диагоналей.

2. Все детали каждой формы должны иметь одно и то же нестираемое клеймо, при этом должна быть обеспечена такая маркировка, при которой стенки форм сохраняют свое постоянное расположение по отношению друг к другу.

3. Сборка и разборка форм должна производиться специальным ключом. Пользоваться металлическим молотком при сборке или разборке категорически запрещается (в крайнем случае может быть использован деревянный молоток). При обнаружении заусенцев по краям граней последние должны быть устранены.

4. Испытанию на прочность подвергаются образцы, опорные грани которых имеют отклонения от плоскости не более 0,1 мм, а размеры ребер находятся в пределах 150±0,75 мм или 100±0,5 мм; разность длин диагоналей каждой грани должна быть не более 1 мм и 0,7 мм соответственно для кубов с ребром 150 и 100 мм, а объемная масса каждого бетонного образца должна отличаться от среднего для серии не более чем на ±2%.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ЛЕГКИМ БЕТОНАМ СО СПЕЦИАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ И ОСОБЕННОСТИ ИХ ПОДБОРА

Бетоны с заданной плотностью

1. Плотность затвердевшего легкого бетона определяется по показателям водонепроницаемости и водопоглощения по массе.

Примечания: 1. Водонепроницаемость легкого бетона определяется по методике ГОСТ 4800—59 «Бетон гидротехнический. Методы испытаний бетона».

2. Водопоглощение бетона определяется по ГОСТ 7025—67 «Материалы стеновые и облицовочные. Методы определения водопоглощения и морозостойкости».

3. Легкие бетоны по плотности классифицируются согласно табл. 17.

Таблица 17

Показатели плотности легкого бетона

Характеристика плотности легкого бетона	Марка по водонепроницаемости не менее	Максимальное водопоглощение по массе $w_{л.б}$ сухого бетона (%) за 48 ч при объемной его массе (кг/м³)						
		1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800
Нормальная . . .	В-4	11,4	10,5	9,8	9,1	8,6	8,1	7,6
Повышенная . . .	В-6	—	—	—	7,5	7,1	6,6	6,3
Особоплотный . .	В-8	—	—	—	6,7	6,3	5,9	5,6

Примечания: 1. При наличии отработанной методики определения коэффициента водонепроницаемости плотность легкого бетона может определяться только по этому показателю.

2. Значения коэффициента приведены в табл. 3 главы СНиП «Защита строительных конструкций от коррозии».

2. При изготовлении легких бетонов заданной плотности к свойствам материалов, изложенным в разделе 2 настоящего Руководства, предъявляются следующие дополнительные требования:

а) водопоглощение крупного пористого заполнителя, определяемое по ГОСТ 9758—68 за 1 ч насыщения в воде, должно быть не более 15% — для пористого гравия и не более 18% — для пористого щебня;

б) водопотребность песка, определяемая по приложению 1, не должна превышать для пористых песков в %:

специально изготовленных	12
полученных дроблением пористого гравия	14
полученных дроблением пористого щебня	10
для плотных песков	8

3. При подборе состава бетона требуемой плотности расход цемента принимается по п. 3.3 настоящего Руководства, но не менее приведенного в табл. 18.

Таблица 18

Рекомендуемые минимальные расходы цемента для легких бетонов с требуемой плотностью

Характеристика плотности бетона	Расход цемента (кг/м³) при характеристике бетонной смеси		
	жесткость 20—40 с	осадка конуса, см	
		2—4	5—8
Нормальная	300	350	400
Повышенная	330	380	430
Особоплотный	380	440	510

4. Удобоукладываемость бетонной смеси рекомендуется назначать:

а) для бетонов нормальной плотности — в пределах от жесткости до 8 см осадки конуса;

б) для бетонов повышенной плотности и особоплотных — в пределах от жесткости до 5 см осадки конуса.

Примечание. При специальных методах уплотнения (прессование, виброштампование и др.) допускается применять бетонные смеси с жесткостью свыше 30—40 с.

5. Для особоплотных бетонов и бетонов повышенной плотности расход крупного заполнителя (по насыпному объему) рекомендуется принимать в пределах от 650 до 800 л/м³.

6. В пределах указанных ограничений повышения плотности легких бетонов следует добиваться за счет:

а) уменьшения подвижности бетонной смеси путем сокращения расхода воды или введения пластифицирующих добавок;

б) введения уплотняющих добавок;

в) замены пористого песка плотным.

Бетоны с уменьшенной усадкой

1. К легким бетонам с уменьшенной усадкой относятся бетоны марок 300 и выше, усадка которых близка к усадке тяжелых бетонов равной прочности и подвижности (жесткости).

2. При изготовлении легких бетонов с уменьшенной усадкой к свойствам материалов, изложенным в разделе 2 настоящего Руководства, предъявляются следующие дополнительные требования:

а) применяются крупные пористые заполнители, смесь фракций которых позволяет получить межзерновую пустотность не более 46% и марку по прочности 200 и более (см. табл. 1);

б) в качестве мелкого заполнителя используются природные плотные пески, модуль крупности которых должен быть 1,9÷2,5;

в) в качестве вяжущего принимается алитовый низкоалюминатный (C_3A не более 8%) портландцемент марок 500 и 600 с нормальной густотой не более 26%.

3. При подборе составов бетона оптимальная объемная концентрация крупного заполнителя φ принимается по табл. 4 с учетом ограничения его межзерновой пустотности (не более 46%) настоящего приложения.

4. В составах легких бетонов цемента должно содержаться не более, чем это указано в табл. 5 приложения 2.

5. Бетонная смесь должна характеризоваться подвижностью не более 3 см.

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

ПРИМЕРЫ ПОДБОРА СОСТАВОВ ЛЕГКОГО БЕТОНА

Пример 1. Требуется подобрать состав керамзитобетона марки 250 с отпускной прочностью 70% проектной марки, объемной массой в сухом состоянии 1700 кг/м³ при осадке конуса бетонной смеси 3—7 см.

Характеристика материалов: цемент марки 500, песок плотный с плотностью 2,62 кг/л и водопотребностью 6,5%, гравий керамзитовый марки 700 (см. табл. 19).

Таблица 19

Характеристики керамзитового гравия

Показатель	Обозначение	Фракция 5—10 мм	Фракция 10—20 мм	Смесь
Объемная насыпная масса, кг/м³	$\gamma_{о.к}$	670	650	680
Объемная масса зерен в цементном тесте, кг/л . . .	$\gamma_{з.к}$	1,25	1,19	1,22*
Прочность в цилиндре, МПа	$R_к^ц$	5,9	5,1	5,5*
Межзерновая пустотность	α	0,46	0,45	0,41

* Определено расчетом по формуле (1) и ГОСТ 9758—68.

Принимаем соотношение фракций керамзита 5—10 и 10—20 мм 40 : 60% (по массе) и в соответствии с п. 4 ГОСТ 9758—68 рассчитываем среднюю объемную массу зерен керамзита в цементном тесте:

$$\gamma_{з.к} = \frac{100}{\frac{40}{1{,}25} + \frac{60}{1{,}19}} = 1{,}22 \text{ кг/л}.$$

По формуле (1) настоящего Руководства рассчитываем среднюю прочность керамзита в цилиндре:

$$\overline{R}_к^{ц} = 0{,}01\,(5{,}9 \cdot 40 + 5{,}1 \cdot 60) = 5{,}5 \text{ МПа}.$$

По ГОСТ 9757—73 этой величине соответствует марка керамзита по прочности 250.

Смешивая в равном количестве обе фракции керамзита, экспериментально находим среднюю объемную насыпную массу смеси $\gamma_{о.к} = 680$ кг/м³ и с учетом средней объемной массы зерен рассчитываем пустотность смеси $\alpha = 0{,}41$. Все эти характеристики записываем в табл. 19.

По табл. 5 (см. приложение 2) находим расход цемента 310 кг/м³. По табл. 6 вводим поправочные коэффициенты: на цемент марки 500 равный 0,85 и на осадку конуса 3—7 см равный 1,15. В итоге расход цемента составляет:

$$Ц = 310 \cdot 0{,}85 \cdot 1{,}15 = 305 \text{ кг/м}^3.$$

По табл. 7 (приложение 2) находим начальный расход воды $B_0 = 205$ л/м³.

По табл. 8 (приложение 2) находим по интерполяции объемную концентрацию керамзита $\varphi = 0{,}37$. Это значение меньше указанного в табл. 4 $\varphi = 0{,}4$ для межзерновой пустотности 0,41 и осадки конуса 3 см и более, и, следовательно, является допустимым.

Расход керамзита по массе рассчитываем по формуле (2)

$$К = 1000 \cdot 0{,}37 \cdot 1{,}22 = 452 \text{ кг/м}^3.$$

Расход плотного песка рассчитываем по формуле (3)

$$П = 1700 - 1{,}15 \cdot 305 - 452 = 897 \text{ кг/м}^3.$$

По формулам (4)—(7) рассчитываем общий расход воды B с учетом поправок:

на объемную концентрацию керамзита по формуле (5)

$$B_1 = 2000\,(0{,}37 - 0{,}37)^2 = 0;$$

на расход цемента по формуле (6)

$$B_2 = 0, \quad \text{так как} \quad Ц = 305 \text{ кг/м}^3 \text{ меньше } 450 \text{ кг/м}^3$$

на водопотребность плотного песка по формуле (7)

$$B_3^{пл} = 0{,}01 \cdot 897\,(6{,}5 - 7) = -4{,}5 \text{ л/м}^3.$$

В итоге по формуле (4) получаем:

$$B = 205 + 0 + 0 - 4{,}5 \approx 200 \text{ л/м}^3.$$

В соответствии с п. 3.6 настоящего Руководства для опытных замесов рассчитываем по аналогичной методике еще два состава

с расходами цемента, отличающимися на ±20%. Рассчитанные расходы материалов приведены в табл. 20.

Поскольку из каждого замеса нужно изготовить по 6 образцов кубов размером 15×15×15 см, то объем замеса принимаем равным:

$$6 \cdot 3{,}4 + 2 = 22 \text{ л}.$$

В процессе приготовления бетонных смесей расходы воды для получения заданной подвижности смесей пришлось немного увеличить.

После определения объемной массы бетонной смеси по ГОСТ 11051—70 фактические расходы материалов на 1 м³ пересчитываем и записываем в табл. 20. Туда же заносим результаты определения осадки конуса, средней прочности и средней объемной массы контрольных образцов. Образцы подвергаем тепловой обработке и испытываем через 4 ч после пропаривания и после 28-дневного последующего твердения в нормальных условиях.

После испытания образцов на сжатие рекомендуется отобрать от них пробы и высушить для определения влажности и расчета объемной массы бетона в сухом состоянии. Как видно из табл. 20, она отличается от заданной не более чем на 30 кг/м³, что является допустимым.

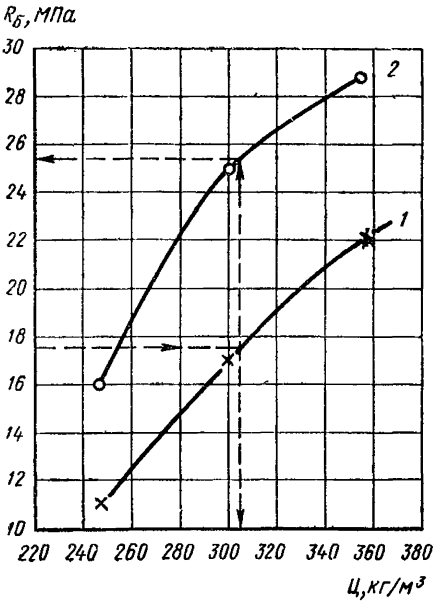


Рис. 2. Зависимость прочности бетона от фактического расхода цемента

1 — после тепловой обработки; *2* — в 28-дневном возрасте

В соответствии с п. 4.9 Руководства строим графики зависимости прочности бетона от фактического расхода цемента (рис. 2).

По условиям задания отпускная прочность бетона должна быть $0{,}7 \cdot 250 = 17{,}5$ МПа. По кривой $R_б^{проп} = f\ (Ц)$ находим, что прочности 17,5 МПа соответствует расход цемента $Ц_0 = 308$ кг/м³. По кривой $R_б^{28} = f\ (Ц)$ убеждаемся, что прочность бетона в 28-дневном возрасте при этом расходе цемента отвечает проектной и равна 25,5 МПа.

Найденный расход цемента находится между 300 и 357 кг/м³ (замесы 2 и 3). Подставляя эти значения в формулу (18), находим:

$$П = 886 + \frac{(308 - 300)\,(816 - 886)}{(357 - 300)} = 876 \text{ кг/м}^3;$$

$$К = 446 + \frac{(308 - 300)\,(446 - 460)}{(357 - 300)} = 444 \text{ кг/м}^3;$$

$$В = 202 + \frac{(308 - 300)\,(202 - 201)}{(357 - 300)} = 202 \text{ кг/м}^3.$$

Окончательный состав: цемент 308 кг/м³
песок 886 »
керамзит 444 »
вода 202 л/м³

Пример 2. Требуется подобрать состав шлакопемзобетона марки 150 с отпускной прочностью 70%, объемной массой в сухом состоянии 1600 кг/м³ *при жесткости бетонной смеси* 30—50 с.

Характеристики материалов: цемент марки 400; песок плотный с плотностью 2,65 кг/л и водопотребностью 6%; песок шлакопемзовый с объемной массой зерен в цементном тесте 1,8 кг/л и водопотребностью 14%; щебень шлакопемзовый фракции 5—10 мм, марки 900 (с объемной насыпной массой 880 кг/м³, объемной массой зерен в цементном тесте 1,75 кг/л, пустотностью 0,5, прочностью в цилиндре 1,5 МПа).

По ГОСТ 9757—73 и табл. 1 устанавливаем, что прочности в цилиндре 1,5 МПа соответствует марка по прочности 125.

По табл. 5 (приложение 2) находим расход цемента 260 кг/м³. По табл. 6 находим поправочные коэффициенты: на пористый песок 1,1; на меньшую крупность щебня 1,1; на жесткость смеси 0,9. В итоге расход цемента составит:

$$Ц = 260 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}1 \cdot 0{,}9 = 283 \text{ кг/м}^3.$$

По табл. 7 находим начальный расход воды $В_0 = 200$ л/м³.

По табл. 4 находим объемную концентрацию щебня $\varphi = 0{,}38$ и по формуле (2) рассчитываем его расход по массе:

$$К = 1000 \cdot 0{,}38 \cdot 1{,}75 = 665 \text{ кг/м}^3.$$

По формулам (8)—(12) рассчитываем расход пористого песка:

$$В_1 = 0; \quad В_2 = 0; \quad А = 1000\,(1 - 0{,}38) - \frac{283}{3{,}1} - 200 = 329 \text{ л/м}^3;$$

$$\Sigma П = 1600 - 1{,}15 \cdot 283 - 665 = 611 \text{ кг/м}^3;$$

$$С_В^{пл} = \frac{1 + 0{,}02\,(6 - 7)}{2{,}65} = 0{,}370;$$

$$С_В^{пор} = \frac{1 + 0{,}02\,(14 - 7)}{1{,}8} = 0{,}634;$$

$$П_{пор} = \frac{329 - 611 \cdot 0{,}37}{0{,}634 - 0{,}37} = 390 \text{ кг/м}^3.$$

По формуле (13) рассчитываем расход плотного песка:

$$П_{пл} = 611 - 390 = 221 \text{ кг/м}^3.$$

Таблица 20

Составы керамзитобетона и результаты испытаний

Показатели	Состав 1	Состав 2	Состав 3
Расчетные расходы материалов на 1 м³ бетонной смеси:			
цемент, кг	250	305	360
песок, »	973	897	822
керамзит, »	439	452	464
вода, л	200	201	201
Расходы материалов на замес 22 л:			
цемент, кг	5,500	6,7	7,92
песок, »	21,400	19,75	18,1
керамзит, »	9,65	9,95	10,2
вода (расч.), л	4,4	4,44	4,44
вода (факт.), л	4,45	4,5	4,48
Сумма расходов материалов в замесе, кг	41	40,9	40,7
Объемная масса бетонной смеси, кг/м³	1840	1830	1830
Осадка конуса, см	4	3	4
Фактический расход материалов на 1 м³ бетонной смеси:			
цемент, кг	247	300	357
песок, »	965	886	816
керамзит, »	435	446	460
вода, л	200	202	201
Прочность при сжатии, МПа:			
после тепловой обработки (отпускная)	11	17	22
в 28-дневном возрасте	16	25	29
Объемная масса бетона после тепловой обработки, кг/м³	1785	1775	1790
Влажность бетона (по массе), %		6	
Объемная масса бетона в сухом состоянии, кг/м³	1680	1680	1690

В соответствии с формулами (14) и (15) рассчитываем общий расход воды:

$$B_3^{пл} = 0{,}01 \cdot 221\,(6-7) = -2{,}2\ л/м^3;$$

$$B_3^{пор} = 0{,}02\frac{390}{1{,}8}\,(14-7) = 30{,}3\ л/м^3;$$

$$B = 200 - 2{,}2 + 30{,}3 = 229\ л/м^3.$$

Расход материалов на 1 м³ составил:

цемент	283 кг
песок плотный	221 »
песок пористый (шлакопемзовый) .	390 »
шлакопемзовый щебень	665 »
вода	229 л

В соответствии с указаниями п. 3.6 рассчитываем аналогичным образом еще два состава с расходами цемента, отличающимися на ±20%. Дальнейший ход проведения опытных замесов и обработка опытных данных не отличается от приведенного в примере 1.

Пример 3. Требуется подобрать состав керамзитобетона марки 400 с отпускной прочностью 70%, объемной массой в сухом состоянии 1800 кг/м³ при жесткости бетонной смеси 20—30 с.

Характеристики материалов: цемент марки 500, песок плотный с плотностью 2,65 кг/л и водопотребностью 5,8%, гравий керамзитовый марки 800 с объемной насыпной массой 790 кг/м³, объемной массой зерен в цементном тесте 1,55 кг/л, пустотностью 0,49, наибольшей крупностью 10 мм и прочностью в цилиндре 7 МПа (марка по прочности 300).

По табл. 5. (приложение 2) находим расход цемента 450 кг/м³. По табл. 6 того же приложения вводим поправочный коэффициент на крупность керамзита 1,08; $Ц = 450 \cdot 1{,}08 = 486$ кг/м³.

По табл. 7 (приложение 2) находим начальный расход воды $B_0 = 195$ л/м³. По табл. 8 (приложение 2) находим по интерполяции объемную концентрацию керамзита $\varphi = 0{,}42$. Это значение превышает указанное в табл. 4 ($\varphi = 0{,}36$) более чем на 0,05. Поэтому в соответствии с п. 3.3, «в» настоящего Руководства на заданных материалах подбор состава не должен производиться и, следовательно, необходимо применять более легкие материалы.

Существуют два выхода из создавшегося положения: применить пористый песок или применить более легкий керамзит.

Рассмотрим вначале вариант применения пористого песка (обжигового керамзитового) с объемной массой зерен в цементном тесте 1,65 кг/л и водопотребностью 10%.

В соответствии с табл. 6 (приложение 2) вводим на пористый песок коэффициент по расходу цемента, равный 1,1.

Получаем $Ц = 486 \cdot 1{,}1 = 534\ кг/м^3$.

Начальный расход воды оставляем без изменения $B_0 = 195$ л/м³. По табл. 4 находим $\varphi = 0{,}36$ и по формуле (2) рассчитываем:

$$K = 1000 \cdot 0{,}36 \cdot 1{,}55 = 557\ кг/м^3.$$

По формулам (8)—(13) рассчитываем расход пористого и плотного песков:

$$B_1 = 0; \quad B_2 = 0{,}15\,(534 - 450) = 13 \text{ л/м}^3;$$

$$A = 1000\,(1 - 0{,}36) - \frac{534}{3{,}1} - (195 + 13) = 260 \text{ л/м}^3;$$

$$\Sigma П = 1800 - 1{,}15 \cdot 534 - 557 = 629 \text{ кг/м}^3;$$

$$C_B^{\text{пл}} = \frac{1 + 0{,}02\,(5{,}8 - 7)}{2{,}65} = 0{,}368;$$

$$C_B^{\text{пор}} = \frac{1 + 0{,}02\,(10 - 7)}{1{,}6} = 0{,}663;$$

$$П_{\text{пор}} = \frac{260 - 629 \cdot 0{,}368}{0{,}663 - 0{,}368} = 98 \text{ кг/м}^3;$$

$$П_{\text{пл}} = 629 - 98 = 531 \text{ кг/м}^3.$$

По формулам (14) и (15) рассчитываем расход воды:

$$B_3^{\text{пл}} = 0{,}01 \cdot 531\,(5{,}8 - 7) = -6 \text{ л/м}^3;$$

$$B_3^{\text{пор}} = 0{,}02 \quad \frac{98}{1{,}6}\,(10 - 7) = 4 \text{ л/м}^3.$$

$$B = 195 + 13 - 6 + 4 = 206 \text{ л/м}^3.$$

Состав бетона:

цемент	534 кг/м³
песок плотный	531 »
песок пористый	98 »
керамзит	557 »
вода	206 л/м³

С точки зрения экономической целесообразности подобранный состав не является оптимальным, так как введение пористого песка и повышение расхода цемента увеличивает себестоимость кубометра бетона. Простой переход на керамзит меньшей объемной массы также не желателен, так как при этом снизится прочность керамзита, что приведет к перерасходу цемента.

По-видимому, лучшим решением в данном случае будет введение дополнительно фракции 10—20 мм. Хотя средняя прочность керамзита при этом несколько снизится, расход цемента за счет увеличения наибольшей крупности керамзита понизится. Главное же, что при оптимальном подборе соотношения фракций керамзита резко уменьшится его пустотность, что приведет к увеличению допустимой объемной концентрации керамзита по табл. 4.

Пусть в данном случае фракция 10—20 мм имеет объемную массу зерен в цементном тесте 1,35 кг/л и прочность в цилиндре 6 МПа. Минимальная пустотность 0,44 достигается при соотношении фракций 1 : 1 по весу. Средняя объемная масса зерен керамзита в цементном тесте составит

$$\gamma_{з.к} = \frac{100}{\frac{50}{1{,}55} + \frac{50}{1{,}35}} = 1{,}46 \text{ кг/л}.$$

Средняя прочность керамзита в цилиндре равна:

$$\overline{R}_к^ц = 0{,}01\,(7 \cdot 50 + 6 \cdot 50) = 6{,}5 \text{ МПа}.$$

По табл. 1 этому значению соответствует марка по прочности 300.

По табл. 5 (приложение 2) находим расход цемента марки 500 $Ц = 450$ кг/м³. Поправочные коэффициенты в табл. 6 для данного случая все равны 1.

По табл. 7 находим начальный расход воды $B_0 = 180$ л/м³. По табл. 8 находим по интерполяции объемную концентрацию керамзита $\varphi = 0{,}42$. Это превышает указанную в табл. 4 величину ($\varphi = 0{,}41$) на 0,01, что меньше предельного значения 0,05. Следовательно, объемная концентрация керамзита является допустимой и расчет состава может быть продолжен.

Расход керамзита по массе рассчитываем по формуле (2): $К = 1000 \cdot 0{,}42 \cdot 1{,}46 = 612$ кг/м³, в том числе 306 кг/м³ фракции 5—10 мм и 306 кг/м³ фракции 10—20 мм. Расход плотного песка по формуле (3) составит: $П = 1800 - 1{,}15 \cdot 450 - 612 = 671$ кг/м³.

По формулам (4)—(7) рассчитываем общий расход воды:

$$B_1 = 2000\,(0{,}42 - 0{,}37)^2 = 5 \text{ л/м}^3;$$

$$B_2 = 0;$$

$$B_3 = 0{,}01 \cdot 671\,(5{,}8 - 7) = -8 \text{ л/м}^3;$$

$$B = 180 + 5 - 8 = 177 \text{ л/м}^3.$$

Состав бетона:

цемент	450 кг/м³
песок	671 »
керамзит . . .	.612» (306 кг/м³ фракции 5—10 мм, 306 кг/м³ фракции 10—20 мм)
вода	177 л/м³

Дальнейшие расчеты, проведение опытных замесов и обработка результатов проводятся в соответствии с разделом 4 настоящего Руководства и аналогичны описанным в примере 1.

Пример 4*. Требуется подобрать составы бетонов марок 200, 250 и 300 с объемной массой в сухом состоянии соответственно 1600, 1700, 1800 кг/м³ при осадке конуса бетонной смеси 3—7 см для всех марок бетона. Характеристики цемента и песка, а также средние характеристики керамзита соответствуют приведенным в примере 1. Известно, что на производстве объемная насыпная масса керамзитового гравия изменяется в пределах от 600 до 800 кг/м³, а прочность — от 4 до 7 МПа. В связи с этим предполагается в процессе производства корректировать состав бетонной смеси. С учетом изложенного в качестве факторов при решении поставленной задачи принимаем.

X_1 — расход цемента $Ц$, кг/м³;

X_2 — объемную концентрацию керамзитового гравия φ;

X_3 — объемную насыпную массу $\gamma_{о.к}$, кг/м³ или прочность керамзитового гравия $R_к^ц$, МПа.

Интервалы варьирования факторов назначаем с учетом рекомендаций приложения 3 и фактического разброса показателей качества

---

* Пример 4 относится к приложению 3.

керамзитового гравия. Значения интервалов варьирования факторов приведены в табл. 21.

Таблица 21

Интервалы варьирования и условия кодирования факторов

Факторы	Интервал варьирования	Уровни факторов		
		верхний + 1	основной 0	нижний — 1
x_1	55	360	305	250
x_2	0,02	0,39	0,37	0,35
x_3	90(1,4)	790(7)	700(5,6)	610(4,2)

Примечание. В *скобках проставлено значение прочности* керамзитового гравия, МПа.

Основные уровни расхода цемента, объемной концентрации керамзита и его объемной насыпной массы выбраны для средней заданной объемной массы бетона $\gamma_{б.сух}=1700$ кг/м³ и середины диапазона колебаний качества керамзита на данном предприятии ($\gamma_{о.к}=700$ кг/м³; $R_к^ц=5{,}6$ МПа). Практически основной состав готовился на имевшемся керамзите с близкой к расчетной объемной массой $\gamma_{о.к}=680$ кг/м³ *.

Интервал варьирования для φ выбран таким, чтобы верхний уровень этого фактора не превысил оптимальной величины, приведенной в табл. 4, более чем на 0,05.

Расчет расходов цемента, песка и воды для исходного состава бетона производился по п. 3.3 настоящего Руководства.

После корректировки расхода воды фактические расходы материалов в основном составе соответствовали составу № 2 в табл. 20 (пример 1) и были равны:

цемент	300	кг/м³
песок	886	»
керамзит	446	»
вода	202	л/м³

План проведения опытов приведен в табл. 22.

Составы бетонов в каждом опыте назначаем в следующем порядке:

а) по плану проведения опытов находим расход цемента и объемную концентрацию керамзитового гравия, а также значение объемной массы керамзита. Например, в первом опыте $x_1=-1$, $x_2=-1$ и $x_3=+1$, т. е. расход цемента $Ц=250$ кг/м³. $\varphi=0{,}35$ и $\gamma_{о.к}=790$ кг/м³ (межзерновая пустотность данного керамзита $\alpha=0.4$ и объемная масса зерен $\gamma_{з.к}=1{,}32$ кг/л);

б) вычисляем расход керамзита по формуле (2).

Для первого опыта:

* Если в распоряжении лаборатории отсутствует керамзитовый гравий с объемной массой, близкой к требуемой, то вместо него можно использовать смесь двух видов керамзитового гравия того же завода, обеспечивающую получение требуемой объемной массы.

Таблица 22

План проведения и результаты опытов

№ опытов	План проведения опытов			Прочность бетона, МПа			Объемная масса бетона, $\bar{\gamma}_б$, кг/м³	Подвижность бетонной смеси $\overline{OK}$, см	Фактический расход цемента $\bar{Ц}_ф$, кг/м³	Отношение $\frac{Ц_ф}{Ц_н}$
	x_1	x_2	x_3	$R_{б_1}$	$R_{б_2}$	$\bar{R}_б$				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	—1	—1	+1	15,8	14,2	15	1750	4,6	247	0,988
2	—1	+1	+1	15,5	14,1	14,8	1700	5,7	252	1,01
3	+1	+1	—1	29	30,6	29,8	1630	4,6	358	0,995
4	+1	—1	+1	39,5	38,5	39	1790	3,9	358	0,996
5	—1	+1	—1	14,1	14,9	14,5	1590	5,8	248	0,994
6	+1	+1	+1	39,2	36,8	38	1740	5,2	360	1
7	—1	—1	—1	14,6	14,4	14,5	1605	3,1	249	0,996
8	+1	—1	—1	30,4	31,6	31	1695	3,2	362	1,005

Примечание. $Ц_н$ — расчетный (номинальный) расход цемента; $Ц_ф$ — фактический расход цемента, полученный в опыте.

$$K = 1000 \cdot 0{,}35 \cdot 1{,}32 = 472 \text{ кг/м}^3.$$

Отметим, что соотношение между объемами фракций 5—10 и 10—20 мм принимаем постоянным и равным 40—60%;

в) вычисляем расход воды по формуле (4), подставляя в нее вместо B_0 уточненный экспериментально расход воды $B_0^у$, найденный по формуле (25)

$$B_0^у = 202 - 0 - 0 - (-4{,}5) = 207 \text{ л/м}^3.$$

Поправку B_3 в соответствии с указаниями п. 9 принимаем такой же, как в основном составе: $B_3 = -4{,}5$ л/м³.

$$B = 207 + 0 + 2000\,(0{,}35 - 0{,}37)^2 + (-4{,}5) = 203 \text{ л/м}^3;$$

г) расход песка вычисляем по формуле (26):

$$П = 2{,}62\left[1000\,(1 - 0{,}35) - \frac{250}{3{,}1} - 207\right] = 945 \text{ кг/м}^3.$$

Определение свойств бетона производим испытанием кубов размером 15×15×15 *см непосредственно после пропарки и после* хранения их в течение 28 сут, т. е. в каждом опыте изготовляем 6 образцов-кубов.

Объем замеса принимаем равным 22 л.

Опытные замесы выполняем в соответствии с указанями гл. 4. В процессе приготовления и укладки бетонной смеси фиксируем объемную массу и подвижность бетонной смеси и рассчитываем фактические расходы материалов. Результаты определений заносим в табл. 22. В первый день опыты выполняем в последовательности, задаваемой планом опытов (см. графу 1 табл. 22). Во второй день опыты повторяем в обратном порядке. Таким образом, в каждом опыте получаем по два наблюдения за каждым определяемым свойством бетона и бетонной смеси. В табл. 22 приведена только часть выполненных определений. Так, в графах 5 и 6 помещены результаты определений прочности пропаренного бетона в 28-дневном возрасте для каждого опыта, а в графе 7 средние значения по двум опытам. Остальные характеристики бетона (объемная масса, подвижность смеси, фактический расход цемента) приведены как средние из двух опытов.

По формулам (31)—(33) рассчитываем коэффициенты соответствующих уравнений.

Например, для уравнения прочности бетона:

$$b_0 = \frac{15 + 14{,}8 + 29{,}8 + 39 + 14{,}5 + 38 + 14{,}5 + 31}{8} = 24{,}6;$$

$$b_1 = \frac{-15 - 14{,}8 + 29{,}8 + 39 - 14{,}5 + 38 - 14{,}5 + 31}{8} = 9{,}9;$$

$$b_{12} = \frac{15 - 14{,}8 + 29{,}8 - 39 - 14{,}5 + 38 + 14.5 - 31}{8} =$$

$$= -0{,}25 \text{ и т. д.}$$

Здесь 15; 14,8; ...; 31 — средние арифметические значения прочности бетона из двух параллельных наблюдений.

Знак перед численным значением прочности определяется соответствующей графой табл. 22.

Например, при вычислении $в_1$ умножаем значение средней прочности бетона (графа 7) на x_1 (графа 2) и т. д.

Значения коэффициентов уравнений прочности и объемной массы бетона, фактического расхода цемента и подвижности бетонной смеси приведены в табл. 23.

Таблица 23

Коэффициенты и их доверительные интервалы

Параметр	Коэффициенты уравнений							Доверительный интервал коэффициента уравнений
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	
$R_б$	24,6	9,875	—0,3*	2,125	—0,25*	1,925	0,00*	0,656
$\gamma_б$	1695	21,25	—28,75	51,00	—0,25*	0,00*	3,00*	15,72
$Ц_ф$	304,44	55,19	0,31*	0,06*	—0,94*	—0,44*	1,44*	3,02
$ОК$	4,52	—0,29	+0,82	+0,33	—0,14*	—0,03*	—0,19*	0,29
$\frac{Ц_ф}{Ц_н}$	0,99	—0,001*	0,002*	—0,001*	—0,0013*	—0,001*	0,005*	0,01

Примечание. Звездочкой помечены незначимые коэффициенты.

В соответствии с указаниями п. 11 приложения 3 проводим статистическую проверку значимости коэффициентов и пригодность полученных уравнений для описания исследуемых зависимостей:

а) находим абсолютные значения разностей между двумя параллельными наблюдениями: $l_u = (y_{1u} - y_{2u})$. Данные вычисления удобнее выполнять в табличной форме (см. табл. 24, где представлен пример для прочности бетона);

б) вычисляем среднее квадратическое отклонение, характеризующее ошибку опыта:

для прочности бетона

$$S_{\bar{R}} = \frac{\sum_{u=1}^{N} l_u}{1{,}585 \cdot N} = \frac{10{,}2}{1{,}585 \cdot 8} = 0{,}805;$$

в) вычисляем доверительные интервалы для коэффициентов уравнений.

Для уравнения прочности бетона

$$\Delta в_i = \frac{tS_{\bar{y}}}{\sqrt{N}} = \frac{2{,}31 \cdot 0{,}805}{\sqrt{8}} = 0{,}656,$$

доверительные интервалы приведены в табл. 23;

г) сравниваем доверительные интервалы с абсолютными значениями коэффициентов уравнений. Те коэффициенты, абсолютные значения которых меньше доверительного интервала, приравниваем нулю (в табл. 23 они помечены звездочкой);

Таблица 24

Пример вычисления разности повторных опытов

№ опытов	$R_{б_1}$	$R_{б_2}$	$\overline{R_б}$	l_u
1	15,8	14,2	15	1,6
2	15,5	14,1	14,8	1,4
3	29	30,6	29,8	1,6
4	39,5	28,5	39	1
5	14,1	14,9	14,5	0,8
6	39,2	36,8	38	2,4
7	14,6	14,4	14,5	0,2
8	30,4	31,6	31	1,2
			$\sum_{u=1}^{N} l_u = 10,2$	

д) в целях проверки пригодности полученного уравнения вычисляем дисперсию по формуле (38). Вычисление удобнее производить в табличной форме (см. табл. 25, где приведен пример вычисления дисперсии для уравнения прочности бетона).

Таблица 25

Пример вычисления дисперсии по прочности

№ опытов	Средняя прочность бетона в опытах $\overline{R_б}$, МПа	Прочность бетона, вычисленная по уточненному уравнению $\hat{R}_б$, МПа	$\lvert \overline{R_б} - \hat{R}_б \rvert$	$(\overline{R_б} - \hat{R}_б)^2$
1	15	14,9	0,1	0,01
2	14,8	14,9	0,1	0,01
3	29,8	30,4	0,6	0,36
4	39	28,5	0,5	0,25
5	14,5	14,5	0	0
6	38	38,5	0,5	0,25
7	14,5	14,5	0	0
8	31	30,4	0,6	0,36
			$\Sigma (\overline{R_б} - \hat{R}_б)^2 = 1,24$	

В графе 2 табл. 25 помещены значения средней прочности бетона, полученной в опытах, и в графе 3 — значения прочности бетона, вычисленные по уточненному уравнению (с учетом отброшенных коэффициентов):

$$\hat{R}_б = 24,6 + 9,9x_1 + 2,1x_3 + 1,9x_1x_3.$$

Как видно из табл. 25, $\Sigma (\overline{R_б} - \hat{R}_б)^2 = 1,24$,

тогда $$S^2_{\text{пр}} = \frac{1{,}24}{8-4} = 0{,}31;$$

ж) вычисляем эмпирическое значение $F_э$-критерия:

$$F_э = -\frac{0{,}31}{(0{,}805)^2} = 0{,}48,$$

что значительно меньше $F_{\text{табл}}=3{,}84$, поэтому приходим к выводу, что уравнение прочности бетона является пригодным для описания исходной зависимости в исследованных пределах изменения факторов.

Статистическая проверка показала, что все уравнения являются пригодными для описания исследуемых зависимостей. Отметим следующее. В уравнении $\frac{Ц_ф}{Ц_н}$ значимым является только коэффициент $b_0=0{,}99$, что свидетельствует о том, что в процессе экспериментов фактические расходы материалов практически не отличались от расчетных. Об этом же говорит и уравнение расхода цемента, в котором значимым (помимо коэффициента $b_0=304{,}44$, почти точно соответствующего значению основного уравнения $\tilde{x}_{01}=0{,}305$) оказался только коэффициент $b_0=55{,}19$, почти равный интервалу варьирования этого фактора $\Delta\tilde{x}_1=55$.

Поэтому в дальнейшем при решении поставленных задач с помощью полученных уравнений прочности объемной массы бетона мы не используем переходные коэффициенты для определения фактических расходов материалов.

Исследуя уравнение подвижности бетонной смеси $ОК$

$$ОК = 4{,}52 - 0{,}29\,x_1 + 0{,}82\,x_2 + 0{,}33\,x_3,$$

замечаем, что даже при максимальном отклонении значений факторов от среднего уровня значение подвижности бетонной смеси не будет выходить за пределы, установленные в задании на подбор состава (3—7 см). Поэтому уравнение подвижности бетонной смеси в принципе также можно не использовать в последующих расчетах.

Таким образом, назначение составов бетонов можем производить по двум уравнениям: прочности и объемной массы. Но предварительно в соответствии с требованиями пп. 12, 13 и 14 приложения 3 мы должны выполнить корректировку расхода воды и коэффициента b_0 непосредственно в заводских условиях.

Корректировку производим на керамзитовом гравии с объемной массой $\gamma_{о.к}=650$ кг/см³ и прочностью $R^{ц}_{к}=5$ МПа. Объемная масса зерен гравия $\gamma_{з.к}=1{,}1$ кг/л.

Расход цемента принимаем равным $Ц=300$ кг/м³, а $\varphi=0{,}37$. Таким образом, расходы воды и песка также принимаем равными расходам этих материалов в основном составе:

$$П=886 \text{ кг/м}^3 \text{ и } В=202 \text{ л/м}^3.$$

Итак, для производственных опытов принимаем следующий состав бетона:

$$Ц = 300 \text{ кг/м}^3;$$

$$К = 0{.}37 \cdot 1{,}1 \cdot 1000 = 407 \text{ кг/м}^3;$$

$$П = 886 \text{ кг/м}^3;$$

$$В = 202 \text{ л/м}^3.$$

В процессе приготовления бетонных смесей тщательно контролируем качество керамзитового гравия путем отбора его непосредственно из раздаточного бункера, а также фактические расходы материалов на замес. На посту формования непосредственно перед укладкой замеряем подвижность и объемную массу бетонной смеси. Убеждаемся, что подвижность бетонной смеси соответствует требуемой. Поэтому корректировки расхода воды не производим.

Из бетонных смесей, приготовленных на одном и том же заполнителе (с одной и той же объемной массой), отбираем пробы бетона и приготавливаем из них по 6 образцов-кубов размером 15×15×15 см. По три образца от каждого замеса испытываем после пропарки, а остальные — после 28 дней с определением объемной массы и прочности бетона при сжатии. Результаты испытаний образцов после 28-суточного хранения приведены в табл. 26.

Таблица 26

Результаты определений свойств пропаренного бетона после 28-суточного хранения

№ замесов	Прочность бетона $R_б$, МПа	Объемная масса бетона в сухом состоянии $\gamma_б$, кг/м³	№ замесов	Прочность бетона $R_б$, МПа	Объемная масса бетона в сухом состоянии $\gamma_б$, кг/м³
1	24	1665	6	23,1	1670
2	25,5	1650	7	22,9	1660
3	23,8	1675	8	23,5	1655
4	24,1	1660	9	24,3	1675
5	23,2	1680	10	22,7	1660
				$\Sigma = 237,1$	$\Sigma = 16\,650$

Вычисляем средние арифметические и средние квадратические отклонения прочности и объемной массы бетона

$$R_б = \frac{\Sigma R_{бi}}{10} = 23,7 \text{ МПа};$$

$$\gamma_б = \frac{\Sigma \gamma_{бi}}{10} = 1665 \text{ кг/м}^3;$$

$$S_{R_б} = \sqrt{\frac{\Sigma (R_{бi} - \overline{R}_б)^2}{9}} = 0,826 \text{ МПа};$$

$$S_{\gamma_б} = \sqrt{\frac{\Sigma (\gamma_{бi} - \overline{\gamma}_б)^2}{9}} = 8,73 \text{ кг/м}^3.$$

Вычисляем значение $0{,}753 \cdot S_0$:

$$0{,}753\, S_{R_б} = 0{,}753 \cdot 0{,}826 = 0{,}622 \text{ МПа};$$

$$0{,}753 S_{\gamma_б} = 0{,}753 \cdot 8{,}73 = 6{,}57 \text{ кг/м}^3.$$

Теперь нам необходимо вычислить теоретические значения прочности бетона для выбранных условий проведения заводского эксперимента, т. е. в исходные уравнения необходимо подставить значения факторов, которые они принимали в опытах.

Чтобы подставить в исходные уравнения значения факторов, их следует закодировать. Для данного производственного состава будем иметь:

$$x_1 = \frac{300 - 300}{55} = 0;$$

$$x_2 = \frac{0{,}37 - 0{,}37}{0{,}02} = 0;$$

$$x_3^{\gamma} = \frac{650 - 700}{90} = -\frac{5}{9};$$

$$x_3^{R} = \frac{5{,}0 - 5{,}6}{1{,}4} = -\frac{0{,}6}{1{,}4} = -\frac{3}{7}.$$

В уравнение прочности мы подставляем $x_3^R = -\frac{3}{7}$, а в уравнение объемной массы $x_3^{\gamma} = -\frac{5}{9}$

$$\hat{R}_б = 24{,}6 - 9{,}9 \cdot 0 + 2{,}1 \left(-\frac{3}{7}\right) + 1{,}9 \cdot 0 = 23{,}77 \text{ МПа};$$

$$\hat{\gamma}_б = 1665 \text{ кг/м}^3.$$

Вычисляем:

$$|\overline{R}_б - \hat{R}_б| = 0{,}04 \quad \text{и} \quad |\overline{\gamma}_б - \hat{\gamma}_б| = 0{,}05$$

и сравниваем соответственно с $0{,}753\, S_{R_б} = 0{,}622$ и $0{,}753\, S_{\gamma_б} = 6{,}57$ Поскольку имеем неравенства

$$|\overline{R}_б - \hat{R}_б| < 0{,}753\, S_{R_б} \quad \text{и} \quad |\overline{\gamma}_б - \hat{\gamma}_б| < 0{,}753\, S_{\gamma_б},$$

корректировку b_0 не производим.

Составы бетонов марок 200, 250 и 300* с объемными массами соответственно 1600, 1700 и 1800 кг/м³ можно назначить путем решения трех систем уравнений:

$$1.\ 20 = 24{,}6 + 9{,}9 x_1 + 2{,}1\, x_3 + 1{,}9\, x_1 x_3;$$

$$1600 = 1695 + 21\, x_1 - 29\, x_2 + 51\, x_3;$$

$$2.\ 25 = 24{,}6 + 9{,}9\, x_1 + 2{,}1 x_3 + 1{,}9\, x_1 x_3;$$

* Прочность соответственно 20, 25 и 30 МПа.

$$1700 = 1695 + 21\,x_1 - 29\,x_2 + 51\,x_3;$$

3. $$30 = 24{,}6 + 9{,}9x_1 + 2{,}1\,x_3 + 1{,}9\,x_1x_3;$$

$$1800 = 1695 + 21\,x_1 - 29\,x_2 + 51\,x_3;.$$

Допустим, необходимо установить состав бетона марки 200, если применяется керамзитовый гравий с $\gamma_{о.к}=650$ кг/м³ и $R_к^ц = 5$ МПа. Подставим кодовое значение фактора x_3 в уравнение, получим:

$$20 = 24{,}6 + 9{,}9x_1 + 2{,}1\left(-\frac{3}{7}\right) + 1{,}9\,x_1\left(-\frac{3}{7}\right);$$

$$1600 = 1695 + 21\,x_1 - 29\,x_2 + 51\left(-\frac{5}{9}\right).$$

После упрощений:

$$-3{,}7 = 9{,}1\,x_1;$$

$$-66{,}7 = 21\,x_1 - 29\,x_2,$$

откуда

$$x_1 = -\frac{3{,}7}{9{,}1} = -0{,}405;$$

$$x_2 = \frac{58{,}2}{29} = 2{,}01$$

или в натуральном масштабе:

$$Ц = 305 - 0{,}405 \cdot 55 = 283 \text{ кг/м}^3;$$

$$\varphi = 0{,}38 + 0{,}02 \cdot 2{,}01 = 0{,}42.$$

Расходы воды и песка находим обычным путем по формулам (3) и (4) гл. 3 настоящего Руководства, но B_0 принимаем равным 207 л.

Необходимо обратить внимание на следующее: значение фактора $\varphi=0{,}42$ выходит за пределы исследованной области. Поэтому принимать это значение нужно с известной осторожностью. Необходимо выполнить дополнительные опыты с проверкой свойств бетонной смеси и бетона.

Полученные уравнения могут использоваться и при поиске оптимальных условий. Например, необходимо назначить состав бетона марки 300 с минимально возможной объемной массой на керамзитовом гравии с $\gamma_{о.к}=650$ кг/м³.

Имеем: $$30 = 24{,}6 + 9{,}9\,x_1 + 2{,}1\left(-\frac{3}{7}\right) + 1{,}9\,x_1\left(-\frac{3}{7}\right);$$

$$\gamma_б = 1695 + 21\,x_1 - 29\,x_2 + 51\left(-\frac{5}{9}\right).$$

После упрощений:

$$6{,}3 = 9{,}1\,x_1;$$

$$\gamma_б = 1667 + 21\,x_1 - 29\,x_2.$$

Находим x_1 из первого уравнения и подставляем во второе:

$$x_1 = \frac{6,3}{9,1} = 0,7;$$

$$\gamma_б = 1667 + 21\ (0,7) - 29\ x_2 \quad \text{или}$$

$$\gamma_б = 1680 - 29\ x_2.$$

Поскольку, как указывалось, полученные уравнения справедливы полностью только в области эксперимента, т. е. у нас имеется ограничение вида $x_2 \leqslant 1$, то минимально возможное значение объемной массы бетона марки 300 получим, приняв $x_2 = 1$

$$\gamma_б = 1682 - 29 \cdot 1 \approx 1650 \text{ кг/м}^3.$$

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	5
1. Общие положения	6
2. Требования к материалам для приготовления бетона	7
3. Расчет исходных составов бетона для опытных замесов	10
4. Проведение опытных замесов и обработка полученных результатов	15
5. Назначение рабочего состава бетонной смеси и его корректировка в производственных условиях	16
Приложение 1. Определение водопотребности песка	18
Приложение 2. Таблицы для расчета составов легких бетонов	19
Приложение 3. Подбор и корректировка состава бетонов на пористых заполнителях с применением математико-статистических методов	31
Приложение 4. Требования к контрольным образцам при определении прочности легкого бетона и к формам для их изготовления	40
Приложение 5. Технологические требования к легким бетонам со специальными свойствами и особенности их подбора	41
Приложение 6. Примеры подбора составов легкого бетона	43

НИИЖБ ВНИИЖелезобетон

Руководство по подбору составов конструктивных легких бетонов на пористых заполнителях

Редакция инструктивно-нормативной литературы

Зав. редакцией А. С. Певзнер

Редактор Л. Н. Кузьмина

Мл. редактор Л. М. Климова

Техн. редакторы В. Д. Павлова, Ю. Л. Циханкова

Корректор В. И. Галюзова

Сдано в набор 28/IV—1975 г. Подписано к печати 14/VII—1975 г. Т12247
Формат 84×108 1/32. Бумага типографская № 2. 3,36 усл. печ. л. (уч.-изд. 3,37 л.)
Тираж 10 000 экз. Изд. № XII—5327 Зак. № 731 Цена 17 коп.

Стройиздат
103006, Москва, Каляевская, 23а

Московская типография № 32 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Москва, К-51, Цветной бульвар, д. 26.

gost.e-ecolog.ru