



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра строительных материалов

БЕТОН

Методические указания
к выполнению расчетно-графической работы
для студентов всех направлений и уровней подготовки,
реализуемых МГСУ

Москва 2015

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

УДК 691.32
ББК 38.3
Б54

Рецензент
доктор технических наук *А.Ф. Бурьянов*,
профессор кафедры технологии вяжущих веществ и бетонов

Составители:
кандидат технических наук *Б.А. Ефимов*;
кандидат технических наук *Н.А. Сканави*;
кандидат технических наук *В.С. Семенов*

Под редакцией
доктора технических наук *Д.В. Орешкина*

Б54 Бетон : методические указания к выполнению расчетно-графической работы для студентов всех направлений и уровней подготовки, реализуемых МГСУ / М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т, каф. строительных материалов ; сост. Б.А. Ефимов, Н.А. Сканави, В.С. Семенов; под ред. Д.В. Орешкина. Москва : МГСУ, 2015. 40 с.

Изложены общие сведения об основном конструкционном материале – бетоне. Приведен порядок определения лабораторного и рабочего составов бетона, дозировок компонентов на замес бетоносмесителя, температуры подогрева заполнителей при бетонировании в зимний период. Приведена методика корректировки состава бетона при изменении марки вяжущего, сроков достижения требуемой прочности. Рассмотрен пример выполнения РГР. Для подготовки к защите РГР приведены контрольные вопросы.

Для студентов всех направлений и уровней подготовки, изучающих дисциплины «Строительные материалы», «Материаловедение».

УДК 691.32
ББК 38.3

ВВЕДЕНИЕ

Бетон – это искусственный каменный строительный материал, получаемый в результате затвердевания рационально подобранной, тщательно перемешанной и уплотненной смеси, состоящей из вяжущего вещества, заполнителей, воды и добавок. До момента укладки эта смесь называется **бетонной смесью**, после укладки и уплотнения – **свежеуложенным бетоном**, после затвердевания – **бетоном**.

Бетон является универсальным долговечным материалом при условии, что компоненты и его состав подобраны с учетом условий эксплуатации конструкции. Несоблюдение этого правила может привести к преждевременному разрушению бетона. Например, бетоны на портландцементе оказываются нестойкими в морской и пресной проточной воде, сильно засоленных грунтах, на ряде промышленных предприятий. Находящиеся в окружающей среде соли, кислоты и щелочи взаимодействуют с продуктами гидратации цемента и постепенно разрушают цементный камень.

В настоящих методических указаниях рассматривается методика подбора состава тяжелого бетона на цементах на основе портландцементного клинкера и плотных заполнителях – наиболее распространенного в современном строительстве, твердеющего в естественных условиях.

Бетон имеет неоднородное, конгломератное строение. На плоскости разреза бетона хорошо видны невооруженным глазом зерна крупного и мелкого заполнителя на фоне цементного камня, скрепляющего эти зерна. Изменяя крупность, форму зерен и соотношение крупного и мелкого заполнителей, расход цемента и воды, можно получать бетоны, значительно различающиеся по свойствам – прочности, морозостойкости, водонепроницаемости, трещиностойкости, усадке. Оптимальным для конкретных условий эксплуатации является состав бетона, удовлетворяющий техническим требованиям строительства и обладающий вместе с тем наименьшей стоимостью. Наиболее дорогостоящим компонентом бетона является цемент. Поэтому стремятся подобрать такой состав бетонной смеси, который обеспечивает получение бетона с минимальным расходом цемента. Кроме того, бетон должен обладать необходимой однородностью свойств и их стабильностью во времени. Отсюда следует, что определение состава бетона является важной технико-экономической задачей.

Правила подбора, назначения и выдачи в производство состава конструкционного тяжелого бетона для сборных бетонных и железобетонных изделий и монолитных конструкций содержатся в ГОСТ 27006–86.

Задание на определение состава должно содержать требуемые показатели качества бетонной смеси и бетона для конкретной конструкции и условия ее эксплуатации, данные о режиме изготовления и твердения бетона, ограничения по составу бетона и качеству материалов, а также характеристики материалов, используемых для приготовления бетона.

Подбор состава бетона включает: определение номинального состава, расчет и корректировку рабочего состава, расчет и передачу в производство рабочих дозировок.

Номинальный состав бетона подбирают при организации производства новых видов конструкций, изменении нормируемых показателей качества бетона или бетонной смеси, технологии производства, характеристик применяемых материалов.

Подбор номинального состава бетона включает:

- выбор и определение характеристик исходных материалов;
- расчет **начального состава**;
- расчет **дополнительных составов** бетона с параметрами составов, отличающихся от принятых в начальном составе в большую и меньшую сторону на 15...30 % (варьируется цементно-водное отношение, соотношение крупного и мелкого заполнителей, расход добавок);
- изготовление пробных замесов начального и дополнительных составов, испытание бетонной смеси, изготовление образцов и их испытание по всем показателям качества;
- обработка полученных результатов с установлением зависимостей, отражающих влияние параметров состава на нормируемые показатели качества бетонной смеси и бетона;
- назначение номинального состава бетона, обеспечивающего получение бетонной смеси и бетона требуемого качества при минимальном расходе вяжущего.

Состав бетона подбирают исходя из **требуемой прочности** – минимально допустимого среднего значения прочности бетона в партии изделий, соответствующего нормируемой прочности бетона при её фактической однородности. Для определения требуемой прочности бетона необходимо знать нормируемую прочность бетона

(класс бетона, установленный проектом) и фактический коэффициент вариации прочности. В случае, если данные о фактической однородности прочности бетона отсутствуют, средний уровень прочности принимают равным требуемой прочности бетона данного класса при нормативном коэффициенте вариации (для тяжелого бетона – 13,5%).

Рабочие составы бетона назначают при переходе на новый номинальный состав и далее при поступлении новых партий материалов тех же видов и марок, которые принимались при подборе номинального состава, с учетом их фактического качества. Корректировку рабочего состава производят, если по данным входного контроля качества заполнителей и операционного контроля производства установлено изменение качества материалов или качества получаемой бетонной смеси, а также в случае, если фактическая прочность бетона оказывается ниже требуемой.

Рабочую дозировку назначают по рабочему составу бетонной смеси с учетом объема приготавливаемого замеса.

Далее в производственных условиях определяют фактическую однородность прочности бетона и устанавливают требуемую прочность бетона при фактическом коэффициенте вариации согласно ГОСТ 18105–2010. При их несоответствии принятым значениям производят корректировку номинального и рабочего составов.

1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Для расчета начального состава бетона необходимо знать:

- Вид и условия эксплуатации конструкции;
- Класс бетона, данные об однородности прочности (коэффициент вариации), срок, к которому нормируемая прочность должна быть достигнута;
- Условия уплотнения и твердения бетона;
- Удобоукладываемость бетонной смеси, выраженную осадкой стандартного конуса в сантиметрах или показателем жесткости в секундах;
- Вид и марку цемента, его истинную и насыпную плотность;
- Зерновой состав заполнителей, содержание в них пылевидных и глинистых частиц, содержание зерен пластинчатой (лещадной) и игольчатой формы в крупном заполнителе, марку крупного заполни-

теля по дробимости и морозостойкости, истинную плотность заполнителей и их насыпную плотность в сухом и естественно-влажном состоянии, влажность заполнителей.

1. Рациональную марку цемента принимают в зависимости от проектного класса прочности бетона по табл. 1.

Таблица 1

Рациональные марки цементов для бетонов различных классов

Проектный класс бетона по прочности на сжатие	Марка цемента	
	Рекомендуемая	Допускаемая
B10	300	–
B12,5	300	400
B15	400	300
B20	400	300; 500
B22,5	400	500
B25	400	500
B27,5	500	400
B30	500	400; 550
B35	500	550; 600
B40	550	500; 600
B45	600	550

В случае, если имеющиеся в наличии (применяемые) цементы квалифицированы классом прочности по ГОСТ 31108–2003, их ориентировочная марка в соответствии с ГОСТ 10178–85 может быть установлена по табл. 2.

Таблица 2

Усредненное соотношение между марками цемента по ГОСТ 10178–85 и классами прочности цемента по ГОСТ 31108–2003

Класс прочности цемента по ГОСТ 31108–2003	22,5	32,5	42,5	52,5
Марка цемента по ГОСТ 10178–85	300	400	500; 550	550; 600

Вид цемента назначают с учетом условий работы конструкций. В частности, при нормальных условиях эксплуатации, когда коррозионные воздействия исключены, рекомендуется использовать портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент с учётом их фактической цены. При наличии коррозионных воздействий следует применять специальные цементы: сульфатостойкий портландцемент, пуццолановый цемент и др.

Истинную и насыпную плотность цемента можно принимать в пределах, указанных в табл. 3.

Таблица 3

Истинная и насыпная плотности цемента

Вид цемента	Истинная плотность, кг/дм ³	Насыпная плотность, кг/дм ³
Портландцемент	3,0...3,3	1,0...1,4
Шлакопортландцемент	2,8...3,1	1,1...1,4
Пуццолановый цемент	2,7...2,9	0,95...1,3

2. Для оценки качества заполнителей в данной учебной работе необходимо определить соответствие их зернового состава требованиям стандартов, а также вычислить модуль крупности песка и наибольшую крупность гравия или щебня. С этой целью для мелкого и крупного заполнителя по данным о частных остатках на ситах находят полные остатки A_i , %, равные сумме частных остатков на данном сите и на всех ситах с более крупными ячейками. По найденным полным остаткам строят графики зернового состава мелкого и крупного заполнителей, которые сопоставляют с требованиями стандартов (рис. 1 и 2).

Для построения графика зернового состава крупного заполнителя предварительно необходимо определить его наибольшую и наименьшую крупность. Наибольшая крупность D характеризуется размером отверстий сита, полный остаток на котором еще не превышает 10%, а наименьшая крупность d – размером отверстий первого из сит по ходу просеивания, полный остаток на котором составляет не менее 95% массы просеиваемой пробы.

Зерновой состав смеси фракций от 5 до 20 мм сопоставляют со стандартными требованиями, приведенными в табл. 4.

Таблица 4

Зерновой состав смеси фракций крупного заполнителя 5...20 мм

Диаметр отверстий контрольных сит, мм	Полные остатки на ситах, % по массе
5	95...100
10	60...75
20	До 10
25	До 0,5

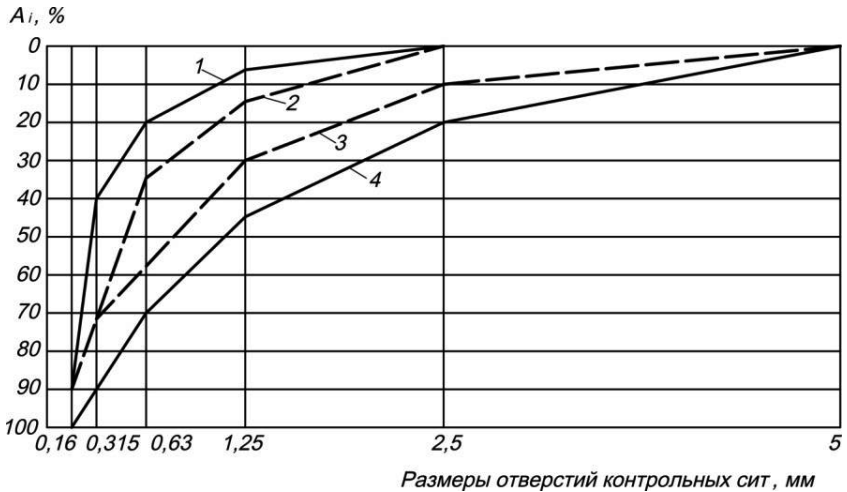


Рис. 1. График зернового состава песка:

1 – допустимая нижняя граница крупности песка ($M_k=1,5$); 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности ($M_k=2,0$) для бетонов класса В15 и выше; 3 – рекомендуемая нижняя граница ($M_k=2,5$) для бетонов класса В25 и выше; 4 – допустимая верхняя граница крупности ($M_k=3,25$).



Рис. 2. График зернового состава отдельных фракций и смесей фракций крупного заполнителя

По результатам сравнения делают выводы о соответствии (несоответствии) зернового состава заполнителей стандартным требованиям и указывают, для бетона каких классов может быть рекомендован песок.

Для оценки крупности песка вычисляют безразмерный показатель – модуль крупности M_k :

$$M_k = \frac{(A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16})}{100}, \quad (1)$$

где: A_i – полные остатки на соответствующих ситах, %.

От модуля крупности песка зависит его водопотребность в бетонной смеси B_n . Значения B_n находят по рис. 3.

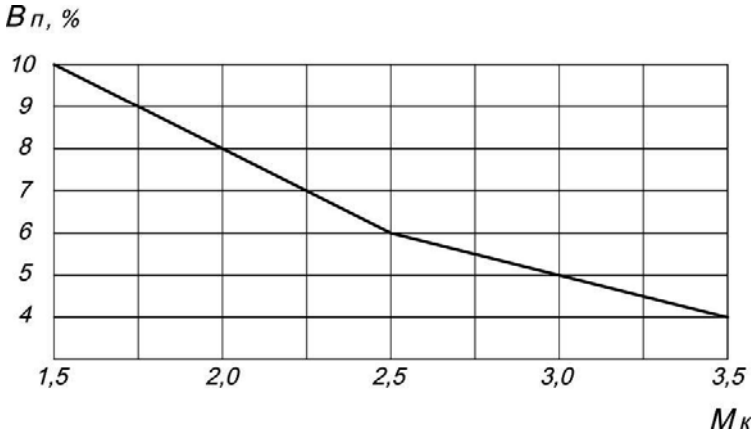


Рис. 3. Водопотребность песка в зависимости от модуля крупности

Наибольшая крупность крупного заполнителя должна соответствовать размерам сечения и густоте армирования конструкции. Согласно рекомендациям [9], необходимо проверить выполнение двух условий:

- Наибольшая крупность заполнителя D должна быть не более $3/4$ наименьшего расстояния в свету между стержнями арматуры a :

$$D \leq \frac{3}{4} \cdot a;$$

- Наибольшая крупность заполнителя D должна быть не более $1/3$ минимального размера поперечного сечения конструкции b_{min} :

$$D \leq \frac{1}{3} \cdot b_{min}.$$

По результатам данной проверки формулируют вывод о соответствии (несоответствии) наибольшей крупности крупного заполнителя размерам сечения и характеру армирования конструкции.

3. Состав бетона рассчитывают исходя из требуемой прочности. Требуемую прочность бетона (МПа) определяют по формуле:

$$R_T = K_T \cdot B_{\text{норм}}, \quad (2)$$

где: $B_{\text{норм}}$ – заданный класс бетона по прочности;

K_T – коэффициент требуемой прочности, определяемый по табл. 5 в зависимости от фактического коэффициента вариации прочности бетона. При отсутствии данных о фактической однородности прочности бетона (например, при организации нового производства), коэффициент требуемой прочности определяют исходя из нормативного коэффициента вариации (для тяжелого бетона – 13,5%) – $K_T = 1,3$.

Таблица 5

Коэффициент требуемой прочности K_T для всех видов бетонов (кроме плотных силикатных и ячеистых)

Средний коэффициент вариации прочности $\bar{V}, \%$	6 и менее	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Коэффициент требуемой прочности K_T	1,07	1,08	1,09	1,11	1,14	1,18	1,23	1,28	1,33	1,38	1,43

Цементно-водное отношение, необходимое для получения бетона требуемой прочности, определяют из формулы закона прочности бетона (формулы И. Болонья – Б.Г. Скрамтаева), имеющей в общем случае вид:

$$R_{28} = A \cdot R_{ц} \cdot \left(\frac{C}{B} \pm 0,5 \right), \quad (3)$$

где: R_{28} – прочность бетона в возрасте 28 суток нормального твердения;

$R_{ц}$ – активность цемента или смешанного вяжущего. В случае, если неизвестна активность вяжущего, в формулу подставляется его марка;

A (A_1) – коэффициент, учитывающий качество заполнителей (табл. 6).

При $R_{28} \leq 1,2R_{ц}$ (бетоны низкой и средней прочности) закон прочности бетона принимает вид:

$$R_{28} = A \cdot R_{ц} \cdot \left(\frac{Ц}{B} - 0,5 \right). \quad (4)$$

При $R_{28} > 1,2R_{ц}$ (высокопрочные бетоны) используется другая зависимость:

$$R_{28} = A_1 \cdot R_{ц} \cdot \left(\frac{Ц}{B} + 0,5 \right). \quad (5)$$

Высококачественными заполнителями считают щебень из плотных и прочных горных пород, песок оптимальной крупности; заполнители чистые, фракционированные, с оптимальным зерновым составом. К рядовым относят заполнители (в том числе гравий), отвечающие требованиям стандарта. Заполнителями пониженного качества являются низкопрочные щебень и гравий, мелкие пески.

Таблица 6

Значения коэффициентов качества заполнителей

Качество заполнителей	A	A ₁
Высокое	0,65	0,43
Рядовое	0,60	0,40
Пониженное	0,55	0,37

Для бетонов классов до В40 включительно цементно-водное отношение находят из формулы (4):

$$\frac{Ц}{B} = \frac{R_T}{A \cdot R_{ц}} + 0,5, \quad (6)$$

где: R_T – требуемая прочность бетона.

Далее рассчитывают водоцементное отношение:

$$\frac{B}{Ц} = \frac{1}{\frac{Ц}{B}}. \quad (7)$$

При определении состава бетона для конструкций, работающих в нормальных условиях эксплуатации, принимают рассчитанное водоцементное отношение, которое обеспечивает заданную прочность бетона. Однако в ряде случаев к конструкциям могут предъявляться дополнительные требования – по морозостойкости, водонепроницаемости, стойкости в агрессивных средах. Введение таких требований необходимо для обеспечения заданной долговечности бетона путем

повышения его плотности. Плотность бетона в первом приближении находится в обратной зависимости от водоцементного отношения. Поэтому при расчете состава бетона, работающего в неблагоприятных условиях, следует учитывать ограничения В/Ц по условиям прочности и долговечности.

4. Начальный расход воды $V_{табл}$ определяют в зависимости от требуемой удобоукладываемости бетонной смеси, вида и наибольшей крупности заполнителя по табл. 7.

Окончательный расход воды V , кг, рассчитывают, вводя поправку на водопотребность песка:

$$V = V_{табл} + (V_{п} - 7) \cdot 5, \tag{8}$$

где: $V_{табл}$ – расход воды, определяемый по табл. 7;
 $V_{п}$ – водопотребность песка (см. рис. 3).

Таблица 7

Расход воды на 1м³ бетона

Марка по удобоукладываемости	Осадка конуса, см	Показатель жесткости, с	Расход воды на 1м ³ бетона, кг, при наибольшей крупности, мм,							
			гравия				щебня			
			10	20	40	70	10	20	40	70
Ж4	–	31...60	150	135	125	120	160	150	135	130
Ж3	–	21...30	160	145	130	125	170	160	145	140
Ж2	–	16...20	165	150	135	130	175	165	150	145
	–	11...15	175	160	145	140	185	175	160	155
Ж1		5...10	180	165	150	145	190	180	165	160
П1	1...4	≤4	190	175	160	155	200	190	175	170
П2	5...7	–	200	185	170	165	210	200	185	180
	8...9	–	205	190	175	170	215	205	190	185
П3	10...12	–	215	205	190	180	225	215	200	190
	12...15	–	220	210	197	185	230	220	207	195
П4	16...20	–	227	218	203	192	237	228	213	202

Примечания:

1. Табличные данные относятся к бетонной смеси, приготовляемой на песке средней крупности с водопотребностью $V_{п}=7\%$.
2. В случае применения пуццоланового цемента расход воды увеличивают на 15...20 кг.
3. При расходе цемента свыше 400 кг расход воды увеличивают на 1 кг на каждые 10 кг цемента сверх 400 кг.

Формула (8) учитывает изменение расхода воды при использовании песков с водопотребностью, отличающейся от 7% (поправка на расход воды в бетонной смеси составляет 5 кг на каждый процент изменения водопотребности песка).

Определив расход воды и взяв из формулы (6) значение Ц/В, вычисляют расход цемента по формуле:

$$Ц = В \cdot \frac{Ц}{В}. \quad (9)$$

Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется меньше допустимого (табл. 8), то следует увеличить его до требуемой нормы, сохранив прежнее Ц/В. Расход воды при этом пересчитывают, исходя из увеличенного расхода цемента.

Таблица 8

Минимальный расход цемента для изготовления железобетонных конструкций с ненапрягаемой арматурой, эксплуатируемых в неагрессивных средах [11]

Условия эксплуатации конструкции	Примеры сред эксплуатации	Вид и расход цемента, кг/м ³		
		ПЦ-Д0, ПЦ-Д5, ЦЕМ I, ЦЕМ I СС	ПЦ-Д20, ЦЕМ II, ЦЕМ II СС	ШПЦ, ЦЕМ III, ЦЕМ III СС, ЦЕМ IV, ЦЕМ V
Среда без признаков агрессии (ХО)	Внутри сухих помещений	150	170	180
Коррозия вследствие карбонизации (ХС)	Внутри влажных помещений; бетон, подвергающийся частому увлажнению или постоянно находящийся в воде; большинство фундаментов	200	220	240

5. Расход заполнителей определяют, принимая во внимание следующие условия:

а) объем плотно уложенного бетона, принимаемый в расчете равным 1 м³ (1000 дм³), складывается из объема зерен мелкого и крупного заполнителей и объема цементного теста, заполняющего пустоты

между зернами заполнителей. Это выражается уравнением абсолютных объемов:

$$\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{В}{\rho_{В}} + \frac{П}{\rho_{П}} + \frac{К}{\rho_{К}} = 1000 \quad (10)$$

б) для обеспечения требуемой удобоукладываемости бетонной смеси пустоты между зернами крупного заполнителя должны быть заполнены цементно-песчаным раствором с их некоторой раздвижкой:

$$\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{В}{\rho_{В}} + \frac{П}{\rho_{П}} = \alpha_{К} \cdot \frac{К}{\rho_{НК}} \cdot k_{р.з.}, \quad (11)$$

где: Ц, В, П, К, – расходы цемента, воды, песка и крупного заполнителя, кг;

$\rho_{Ц}, \rho_{В}, \rho_{П}, \rho_{К}$ – истинные плотности этих материалов, кг/дм³;

$\rho_{НК}$ – насыпная плотность крупного заполнителя, кг/дм³;

$\alpha_{К}$ – пустотность крупного заполнителя в рыхлонасыпном состоянии в долях единицы объема, вычисляемая по формуле:

$$\alpha_{К} = 1 - \frac{\rho_{НК}}{\rho_{К}}; \quad (12)$$

$k_{р.з.}$ – безразмерный коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя цементно-песчаным раствором.

Решая совместно уравнения (10) и (11), получим формулы для определения расхода крупного заполнителя К, кг:

$$K = \frac{1000}{\frac{\alpha_{К} \cdot k_{р.з.}}{\rho_{НК}} + \frac{1}{\rho_{К}}} \quad (13)$$

и песка П, кг:

$$П = \left[1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{В}{\rho_{В}} + \frac{К}{\rho_{К}} \right) \right] \cdot \rho_{П}. \quad (14)$$

Значение коэффициента раздвижки зерен в формуле (13) находят с учетом удобоукладываемости бетонной смеси. Если смесь жесткая, $k_{р.з.}$ принимают в пределах 1,05...1,15. Чем больше показатель жесткости Ж, тем меньшим должно быть значение $k_{р.з.}$. В среднем значение коэффициента раздвижки зерен для жестких смесей составляет 1,1.

Для подвижных бетонных смесей, характеризующихся осадкой конуса ОК, значения $k_{p.з.}$, определяют в зависимости от объема цементного теста и водопотребности песка. Вначале рассчитывают объем цементного теста $V_{цт}$ по формуле:

$$V_{цт} = \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{B}{\rho_{в}} \quad (15)$$

Далее по графику (рис. 4) находят начальное значение коэффициента раздвижки $k'_{p.з.}$ и корректируют его с учетом водопотребности песка:

$$k_{p.з.} = k'_{p.з.} + (7 - B_{п}) \cdot 0,03 \quad (16)$$

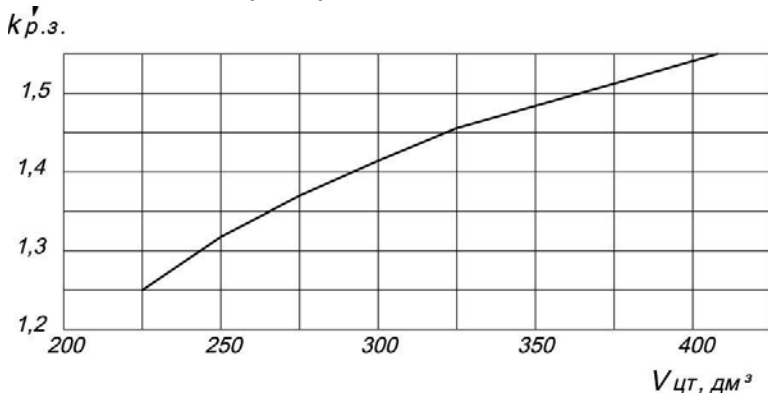


Рис. 4. Значения $k'_{p.з.}$ для подвижных бетонных смесей, приготовляемых с применением песка средней крупности ($B_{п}=7\%$)

На этом заканчивается расчет начального состава бетона. Расходы цемента, воды, крупного и мелкого заполнителей записывают отдельно. При их сложении получают теоретическую среднюю плотность бетонной смеси, выраженную в $\text{кг}/\text{м}^3$.

6. Состав бетона можно выразить в относительных единицах по массе или объему. В этом случае за единицу принимают массу или объем цемента, выражая количество других компонентов по отношению к цементу.

Состав бетона по массе:

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{B}{Ц} : \frac{П}{Ц} : \frac{К}{Ц} = 1 : \frac{B}{Ц} : \frac{П}{Ц} : \frac{К}{Ц}, \quad (17)$$

где: Ц, В, П, К – расходы цемента, воды, песка и крупного заполнителя в килограммах на 1м³ бетона.

Состав бетона по объему:

$$\frac{V_{\text{Ц}}}{V_{\text{Ц}}} : \frac{V_{\text{В}}}{V_{\text{Ц}}} : \frac{V_{\text{П}}}{V_{\text{Ц}}} : \frac{V_{\text{К}}}{V_{\text{Ц}}} = 1 : \frac{V_{\text{В}}}{V_{\text{Ц}}} : \frac{V_{\text{П}}}{V_{\text{Ц}}} : \frac{V_{\text{К}}}{V_{\text{Ц}}}, \quad (18)$$

где: V_Ц, V_П, V_К – объемы цемента, песка и крупного заполнителя в рыхлонасыпном состоянии (дм³) на 1м³ бетона, V_В – объем воды (дм³) на 1м³ бетона.

$$V_{\text{Ц}} = \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{НЦ}}}; V_{\text{В}} = \frac{B}{\rho_{\text{В}}}; V_{\text{П}} = \frac{\text{П}}{\rho_{\text{НП}}}; V_{\text{К}} = \frac{\text{К}}{\rho_{\text{НК}}}, \quad (19)$$

где: ρ_В – плотность воды, принимаемая равной 1 кг/дм³;

ρ_{НЦ}, ρ_{НП}, ρ_{НК} – насыпные плотности цемента, песка и крупного заполнителя, кг/дм³.

7. Расчет состава бетона производят, исходя из условия, что заполнители сухие. Полученный состав называют лабораторным. В действительности песок и крупный заполнитель всегда содержат некоторое количество воды, что необходимо учитывать при назначении рабочего состава бетона. В этом случае определяют влажность заполнителей, рассчитывают массу воды, содержащейся в заполнителях, и на эту величину уменьшают массу добавляемой в бетонную смесь воды, повышая на эту же величину расход заполнителей. Количественно рабочий состав бетона отличается от лабораторного, но фактически количество воды и сухих компонентов в бетоне остается прежним – как и в лабораторном составе.

8. Дозировку материалов на замес бетоносмесителя назначают с учетом, что объем готовой бетонной смеси будет меньше суммарного объема исходных сыпучих компонентов в рыхлонасыпном состоянии вследствие уменьшения объема смеси при её перемешивании и последующем уплотнении. Уменьшение объема бетонной смеси учитывают коэффициентом выхода бетона:

$$\beta = \frac{1000}{V'_{\text{Ц}} + V'_{\text{П}} + V'_{\text{К}}}, \quad (20)$$

где: $V'_c, V'_п, V'_к$ – объемы цемента, песка и крупного заполнителя в рыхлонасыпном состоянии (дм³) на 1м³ бетона по рабочему составу.

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

9. Зная коэффициент выхода бетона, рассчитывают дозировку материалов по рабочему составу на замес бетоносмесителя объемом V :

$$\begin{aligned} Ц'_v &= \frac{\beta \cdot V}{1000} Ц'; & B'_v &= \frac{\beta \cdot V}{1000} B'; \\ П'_v &= \frac{\beta \cdot V}{1000} П'; & K'_v &= \frac{\beta \cdot V}{1000} K', \end{aligned} \quad (21)$$

где: $Ц'_v, B'_v, П'_v, K'_v$ – расходы цемента, воды, песка и крупного заполнителя по рабочему составу на замес бетоносмесителя вместимостью V , кг;

$Ц', B', П', K'$ – расходы цемента, воды, песка и крупного заполнителя на 1 м³ бетона по рабочему составу, кг.

Объем бетона в замесе определяют по формуле:

$$V_з = \beta \cdot V. \quad (22)$$

10. При производстве работ в зимнее время и в межсезонье, когда среднесуточная температура воздуха опускается ниже +5°C, для обеспечения нормального набора прочности в начальные сроки твердения бетона требуется применять методы зимнего бетонирования. Они направлены на обеспечение условий для набора бетоном как минимум критической прочности (30...50% проектной в зависимости от класса бетона), а для большинства несущих конструкций – 50...70% проектной прочности в возможно короткие сроки. Замораживание бетона в начальные сроки твердения приводит к возникновению дефектов его структуры, снижению прочности и эксплуатационных свойств. Считается, что замораживание бетона, набравшего критическую прочность, существенно не сказывается на его свойствах.

Бетонная смесь при укладке в опалубку должна иметь температуру, определяемую расчетом для конкретного метода зимнего бето-

нирования, и не ниже +5°C. Хранящиеся на неотапливаемых складах заполнители имеют отрицательную температуру. Цемент, находящийся в силосных банках, также остывает. Поэтому возникает необходимость подогрева заполнителей и воды с тем, чтобы получить требуемую температуру бетонной смеси. Заполнители подогревают до температуры не выше 60°C. Воду нагревают до температуры 60...90 °С. Подогрев цемента запрещается. Температура бетонной смеси при таких условиях обычно не превышает +45°C.

Температуру подогрева заполнителей определяют из уравнения теплового баланса, которое получено из условия, что теплота от остывания воды передается цементу и заполнителям:

$$c_B \cdot B \cdot (t_{B.П.} - t_{B.C.}) = C_{Ц} \cdot Ц \cdot (t_{B.C.} - t_{H.Ц.}) + c_3 \cdot (П + К) \cdot (t_{B.C.} - t_3) \quad (23)$$

где: c_B , $c_{Ц}$, c_3 – удельные теплоемкости воды, цемента и заполнителей соответственно; для практических целей можно принять,

что $c_{Ц} = c_3 = 0,84 \frac{кДж}{кг \cdot ^\circ C}$, $c_B = 4,2 \frac{кДж}{кг \cdot ^\circ C}$;

$Ц$, B , $П$, $К$ – расходы материалов на 1 м³ бетона, кг;

$t_{B.П.}$ – температура, до которой подогревают воду, °С;

$t_{B.C.}$ – заданная температура бетонной смеси, °С;

$t_{H.Ц.}$ – начальная температура цемента, °С;

t_3 – определяемое значение температуры подогрева заполнителей, °С.

Для упрощения вычислений можно вместо $Ц$, B , $П$ и $К$ подставить в уравнение теплового баланса соответствующие им части из выражения состава бетона в относительных единицах по массе (см. п. 6). Как видно из формулы (23), конечная температура подогрева заполнителей с достаточной для практических целей точностью может быть определена и без знания их начальной температуры и состояния, которые необходимо учитывать при более точных методах расчета.

11а. В случае, если на строительство поступает цемент другой марки, отличной от определенной в п. 1, необходимо для обеспечения заданной прочности внести в состав бетона изменения. В первую очередь они касаются расхода цемента, хотя расходы песка

и крупного заполнителя также следует корректировать. Здесь могут встретиться два варианта.

Вариант первый: марка цемента превышает наибольшую из указанных в табл. 1 для бетона данного класса. Это вызывает необходимость понизить активность высокомарочного цемента путем тщательного смешивания его с тонкомолотой добавкой-наполнителем (из доменного гранулированного шлака, золы ТЭС, известняка и др.). В противном случае, когда для бетона низких классов используют высокомарочный неразбавленный добавкой цемент, его расход, определенный из условия прочности бетона, может оказаться ниже минимально допускаемого значения, указанного в табл. 8, и придется добавлять дорогостоящий цемент до рекомендуемого минимума с целью обеспечения плотности бетона, что нерационально.

При введении добавки-наполнителя получается смешанное вяжущее, активность которого убывает пропорционально количеству добавки. Содержание добавки в смешанном вяжущем a , доли единицы, определяют по формуле:

$$a = \frac{R_{Ц} - R_{СМ}}{R_{Ц}}, \quad (24)$$

где: $R_{Ц}$ – активность (марка) разбавляемого цемента;

$R_{СМ}$ – активность смешанного вяжущего, соответствующая рекомендуемой в табл. 1 марке цемента.

Вариант второй: марка цемента ниже рекомендуемой. В этом случае никаких минеральных добавок в цемент вводить не нужно, а расчет ведут обычным порядком, используя новую марку цемента.

116. Часто прочность бетона, исходя из условий строительного производства, должна быть достигнута не в тот срок, который указан в задании, а в другой. При этом требуется определить изменение расхода цемента. В этом случае заданную прочность бетона в срок n дней приводят к той прочности, которой будет обладать бетон в возрасте 28 дней при помощи логарифмической зависимости:

$$\frac{R_{28}}{R_n} = \frac{\lg 28}{\lg n}, \quad \text{или} \quad R_{28} = R_n \cdot \frac{\lg 28}{\lg n}, \quad (25)$$

где: R_{28} – прочность на сжатие, которой достигнет бетон в возрасте 28 суток;

R_n – заданная прочность бетона в срок n дней.

Данная логарифмическая зависимость справедлива для бетона на портландцементе, твердеющего в естественных условиях при сроках твердения $n=3\dots90$ суток.

Необходимость такого приведения обусловлена тем, что расчетная формула (3), связывающая прочность бетона с параметрами его состава, выведена для бетона, твердеющего 28 дней в естественных условиях, и только в этом случае применимы указанные в формуле коэффициенты.

12. Многие важные свойства бетона – морозостойкость, водонепроницаемость, коррозионная стойкость – тесно связаны с особенностями структуры, в частности, с пористостью бетона. В плотно уложенном бетоне поры образуются, в основном, вследствие испарения свободной воды. Размеры возникающих пор неодинаковы. Отрицательно влияют на перечисленные выше свойства бетона макропоры, размер которых более 10^{-5} см. Более мелкие поры, заполненные адсорбционно связанной с цементным гелем водой, не оказывают негативного влияния на морозостойкость и водонепроницаемость бетона. Поэтому для оценки этих свойств бетона важно знать его макропористость, которую вычисляют следующим образом. Цемент связывает химически w воды (считая в долях или процентах массы цемента) и примерно столько же адсорбционно в микропорах геля. Следовательно, общее количество воды, связанной цементом, будет $2w$. Объем макропор (капиллярных) $\Pi_K, \%$, образованных не связанной водой, определяют по формуле:

$$\Pi_K = \frac{B - 2 \cdot w \cdot Ц}{1000} \cdot 100\% . \quad (26)$$

где: $Ц, B$ – расходы цемента и воды на 1 м^3 бетона, кг;
 w – относительное количество воды, связанной цементом, доли единицы.

Общую пористость бетона $\Pi_B, \%$, рассчитывают по формуле:

$$\Pi_B = \frac{B - w \cdot Ц}{1000} \cdot 100\% . \quad (27)$$

В действительности же общая пористость бетона будет больше вычисленной по формуле (27), поскольку не учтен объем вовлеченного воздуха, равный 2...6%. Морозостойкость бетона значительно возрастает, если объем капиллярных пор меньше 7%. Макропори-

стоить можно уменьшить снижением В/Ц, что достигается комплексом средств: тщательным подбором зернового состава заполнителей, применением пластификаторов, интенсивным уплотнением бетонной смеси и т.д.

13. Стоимость материалов для изготовления 1м^3 бетона определяют с использованием цен, приведенных в табл. 9.

Таблица 9

**Усредненные оптовые цены на материалы
для Московской области на 2015 г.**

Материал	Единица измерения	Оптовая цена, руб.
Портландцемент бездобавочный		
ПЦ 400–Д0 (ЦЕМ I 32,5 Н)	т	3 600
ПЦ 500–Д0 (ЦЕМ I 42,5 Н)	т	3 750
ПЦ 550–Д0 (ЦЕМ I 52,5 Н)	т	4 200
ПЦ 600–Д0 (ЦЕМ I 52,5 Б)	т	4 800
Портландцемент быстротвердеющий		
ПЦ 400–Д0–Б (ЦЕМ I 32,5Б)	т	3 800
ПЦ 500–Д0–Б (ЦЕМ I 42,5Б)	т	3 950
Портландцемент с минеральными добавками до 20%		
ПЦ 400–Д20 (ЦЕМ II 32,5Н)	т	3 450
ПЦ 500–Д20 (ЦЕМ II 42,5Н)	т	3 650
Портландцемент сульфатостойкий		
ЦЕМ I 32,5 Н СС	т	3 700
ЦЕМ I 42,5 Н СС	т	3 900
Шлакопортландцемент		
ШПЦ 300 (ЦЕМ III 22,5 Н)	т	2 450
ШПЦ 400 (ЦЕМ III 32,5 Н)	т	2 800
ШПЦ 500 (ЦЕМ III 42,5 Н)	т	3 100
Пуццолановый цемент		
ЦЕМ IV 32,5 Н	т	3 200
Щебень гранитный:		
фракция 10-20	м^3	1 600
фракция 20-40	м^3	1 550
фракция 40-70	м^3	1 400
смесь фракций 5-20 мм	м^3	1 800
смесь фракций 5-40 мм	м^3	1 600
смесь фракций 5-70 мм	м^3	1 100
Гравий для строительных работ:		
фракция 5-10	м^3	1 700

Материал	Единица измерения	Оптовая цена, руб.
фракция 10-20	м ³	1 300
фракция 20-40	м ³	1 250
фракция 40-70	м ³	1 100
смесь фракций 5-20 мм	м ³	1 350
смесь фракций 5-40 мм	м ³	1 250
смесь фракций 5-70 мм	м ³	850
Песок для строительных работ	м ³	500
Вода	м ³	25

2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

З а д а н и е

Рассчитать состав бетона класса В20 при нормативном коэффициенте вариации прочности 13,5%, предназначенного для бетонирования железобетонного перекрытия промышленного здания. Условия эксплуатации нормальные. Смесь укладывается с вибрацией. Подвижность бетонной смеси по осадке конуса составляет 5...7 см. Минимальный размер сечения конструкции 200 мм, наименьшее расстояние в свету между стержнями рабочей арматуры 60 мм.

Зерновой состав заполнителей приведен в табл. 10.

Таблица 10

Вид заполнителя	Частные остатки, %, на ситах с размером отверстий, мм									
	70	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16
Песок	–	–	–	–	–	10	30	25	15	20
Щебень	–	5	35	40	20	–	–	–	–	–

Параметры состояния заполнителей приведены в табл. 11.

Таблица 11

Вид заполнителя	Плотность, кг/дм ³	Насыпная плотность, кг/дм ³		Влажность по массе, %
		В сухом состоянии	Во влажном состоянии	
Песок	2,65	1,55	1,40	4,5
Щебень	2,70	1,53	1,56	2,0

Определить и рассчитать

1. Вид и марку цемента.
2. Соответствие зернового состава песка и крупного заполнителя требованиям стандарта. Модуль крупности и водопотребность песка. Соответствие наибольшей крупности заполнителя размерам сечения и характеру армирования конструкции.
3. Цементно-водное отношение по формуле прочности бетона. Вычислить В/Ц.
4. По таблице водопотребности бетонной смеси определить расход воды на 1 м^3 бетона. Рассчитать расход цемента. Полученное значение сопоставить с минимально допустимым.
5. Расход материалов на 1 м^3 бетона, исходя из необходимости получить плотную смесь; среднюю плотность бетонной смеси.
6. Состав бетона в относительных единицах по массе и по объему.
7. Изменение дозировки материалов с учетом влажности заполнителей. Рабочий состав бетона в относительных единицах.
8. Коэффициент выхода бетона рабочего состава и объем бетона, получаемого в одном замесе бетоносмесителя вместимостью 1200 дм^3 .
9. Дозировку материалов по рабочему составу на замес бетоносмесителя.
10. Температуру подогрева материалов для получения бетонной смеси с температурой $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (состав бетона принимать по п. 5). Начальную температуру материалов см. в табл. 12.

Таблица 12

Материалы	Начальная температура, $^\circ\text{C}$
Цемент	$-5 \text{ }^\circ\text{C}$
Песок	$-15 \text{ }^\circ\text{C}$
Крупный заполнитель	$-15 \text{ }^\circ\text{C}$
Вода	$85 \text{ }^\circ\text{C}$

11. Изменение расхода цемента по сравнению с составом по п. 5, при условии, что расход воды в бетоне остается тем же, если:
 - а) на строительство поступил портландцемент марки 600;
 - б) требуемая прочность бетона должна быть достигнута в возрасте 14 сут, а не 28 сут, как было указано в условии задания.Пункты 11 а и 11 б решаются раздельно.

12. Пористость бетона в возрасте 360 сут нормального твердения, учитывая, что к этому сроку масса химически связанной воды составит 18 % массы цемента.
13. Суммарную стоимость материалов, расходуемых на изготовление 1 м³ бетона, и долю стоимости, приходящуюся на цемент (состав бетона принимать по п. 5).

Решение

1. Определяем вид и марку цемента. Поскольку условия эксплуатации нормальные, можно применить портландцемент, шлакопортландцемент, портландцемент с минеральными добавками, быстротвердеющий портландцемент. Останавливаем выбор на портландцементе с минеральными добавками, характеристики которого назначаем по табл. 3: истинная плотность 3,1 кг/дм³, насыпная плотность 1,3 кг/дм³. Портландцемент с минеральными добавками, обладая теми же техническими свойствами, что и бездобавочный цемент, имеет по сравнению с последним меньшую стоимость (табл. 9).

Для бетона класса по прочности В20 табл. 1 рекомендует цемент марки 400. Таким образом, для данного бетона будет применяться портландцемент ПЦ 400–Д20.

Назначая вид и марку цемента, следует по табл. 9 проверить наличие и стоимость выбранного цемента. Если при выполнении РГР необходимо использовать цемент марки 300 (табл. 1), следует учесть, что с такой маркой в настоящее время выпускается только шлакопортландцемент.

2. Оцениваем необходимые характеристики заполнителей.

Определяем соответствие зернового состава песка требованиям стандарта – рассчитываем полные остатки на ситах (табл. 13), строим график зернового состава (рис. 5).

Таблица 13

Результаты просеивания песка

Показатели, размерность	Размеры отверстий сит, мм					
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16
Остатки частные a _i , %	–	10	30	25	15	20
Остатки полные A _i , %	–	10	40	65	80	100

По формуле (1) определяем модуль крупности песка:

$$M_K = \frac{(A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16})}{100} = \frac{10 + 40 + 65 + 80 + 100}{100} = 2,95.$$

По графику (рис. 3) определяем водопотребность песка: $B_{II} = 5\%$.

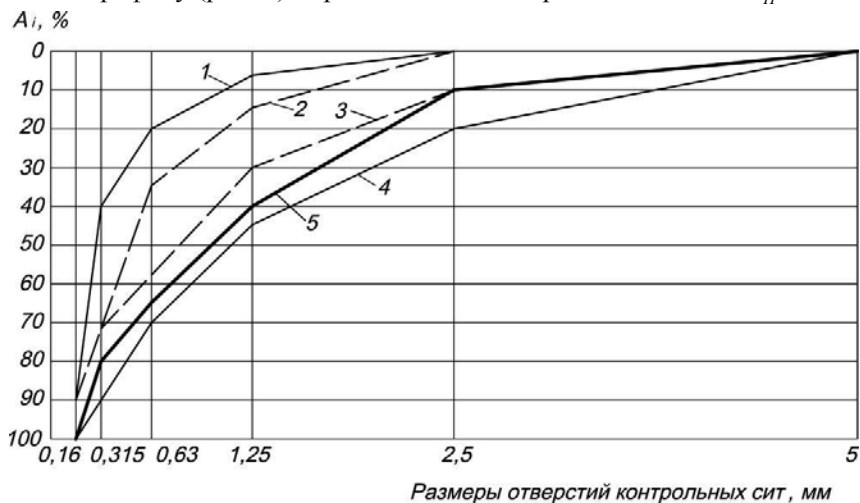


Рис. 5. График зернового состава песка

1 – допустимая нижняя граница крупности песка ($M_k = 1,5$); 2 – рекомендуемая нижняя граница крупности ($M_k = 2,0$) для бетонов класса В15 и выше; 3 – рекомендуемая нижняя граница ($M_k = 2,5$) для бетонов класса В25 и выше; 4 – допустимая верхняя граница крупности ($M_k = 3,25$); 5 – график просеивания песка

Вывод: по зерновому составу данный песок удовлетворяет требованиям ГОСТ и может быть использован для бетонов класса В20.

Определяем соответствие зернового состава крупного заполнителя (в нашем случае – щебня) требованиям стандарта – рассчитываем полные остатки на ситах (табл. 14), устанавливаем наибольшую (D) и наименьшую (d) крупность, строим график зернового состава (рис. 6).

Таблица 14

Результаты просеивания крупного заполнителя

Показатели, размерность	Размеры отверстий сит, мм				
	70	40	20	10	5
Остатки частные $a_i, \%$	–	5	35	40	20
Остатки полные $A_i, \%$	–	5	40	80	100

Наибольшая крупность $D = 40$ мм.

Наименьшая крупность $d = 5$ мм.

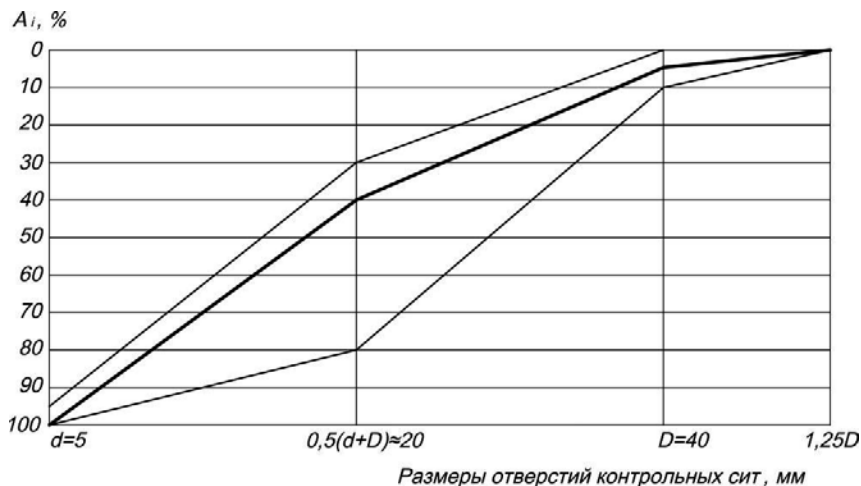


Рис. 6. График зернового состава крупного заполнителя

Вывод: по зерновому составу данный щебень удовлетворяет требованиям ГОСТ.

В случае, если при выполнении РГР песок или крупный заполнитель по зерновому составу не удовлетворяют требованиям ГОСТ, отмечаем это и принимаем в расчет коэффициент качества заполнителей $A=0,55$ (заполнители пониженного качества).

Проверяем соответствие наибольшей крупности заполнителя размерам сечения и характеру армирования конструкции:

$$D \leq \frac{1}{3} \cdot b_{\min}; \quad \frac{1}{3} \cdot b_{\min} = \frac{1}{3} \cdot 200 = 67 \text{ мм}; \quad D \leq 67 \text{ мм}.$$

$$D \leq \frac{3}{4} \cdot a; \quad \frac{3}{4} \cdot a = \frac{3}{4} \cdot 60 = 45 \text{ мм}; \quad D \leq 45 \text{ мм}.$$

где: $b_{\min} = 200 \text{ мм}$ – минимальный размер сечения конструкции;
 $a = 60 \text{ мм}$ – минимальное расстояние в свету между стержнями рабочей арматуры.

Вывод: наибольшая крупность данного щебня ($D=40 \text{ мм}$) соответствует размерам сечения и характеру армирования конструкции.

В случае, если при выполнении РГР наибольшая крупность крупного заполнителя не соответствует размерам сечения и характеру армирования конструкции, необходимо обратиться к преподавателю для корректировки задания.

3. По формуле (2) определяем требуемую прочность бетона:

$$R_T = K_T \cdot B_{\text{норм}} = 1,3 \cdot 20 = 26 \text{ МПа} = 260 \text{ кгс/см}^2,$$

где: $B_{\text{норм}}$ – заданный класс бетона по прочности, В20;

$K_T = 1,3$ – коэффициент требуемой прочности, определяемый по табл. 5 с учетом заданного коэффициента вариации (13,5%).

Поскольку $R_{28} = 260 \text{ кгс/см}^2 \leq 1,2 R_{Ц} = 1,2 \cdot 400 = 500 \text{ кгс/см}^2$, цементно-водное отношение определяем по формуле (6):

$$\frac{Ц}{В} = \frac{R_T}{A \cdot R_{Ц}} + 0,5 = \frac{260}{0,65 \cdot 400} + 0,5 = 1,50,$$

где: $R_T = 260 \text{ кгс/см}^2$ – требуемая прочность бетона;

$R_{Ц} = 400 \text{ кгс/см}^2$ – марка цемента.

Коэффициент A принят равным 0,65, поскольку заполнители по зерновому составу удовлетворяют требованиям ГОСТ, в качестве крупного заполнителя используется щебень, песок оптимален по зерновому составу для бетона заданного класса.

По известному значению Ц/В по формуле (7) находим водоцементное отношение, необходимое по условию прочности:

$$\frac{В}{Ц} = \frac{1}{\frac{Ц}{В}} = \frac{1}{1,5} = 0,67.$$

В нашем случае ограничений В/Ц по условию долговечности бетона нет, поэтому используем найденные значения В/Ц и Ц/В для дальнейшего расчета.

4. По табл. 7 определяем расход воды на 1 м^3 бетонной смеси, руководствуясь значениями подвижности бетонной смеси, наибольшей крупности и вида крупного заполнителя. При подвижности бетонной смеси 5...7 см и наибольшей крупности щебня 40 мм расход воды составит $V_{\text{табл}} = 185$ кг. Учитывая, что при модуле крупности 2,95 водопотребность песка равна 5%, по формуле (8) определяем окончательный расход воды:

$$В = V_{\text{табл}} + (В_{II} - 7) \cdot 5 = 185 + (5 - 7) \cdot 5 = 175 \text{ кг}.$$

На основании принятых значений Ц/В и В по формуле (9) определяем расход цемента:

$$Ц = B \cdot \frac{Ц}{B} = 175 \cdot 1,5 = 262 \text{ кг}.$$

Полученный расход цемента сопоставляем с минимально допускаемым. В нашем случае условия эксплуатации нормальные. Полагаем, что конструкция эксплуатируется в помещении с умеренной влажностью, тогда минимальный расход портландцемента с минеральными добавками составит 220 кг (табл. 8). Поскольку найденный расход цемента не ниже минимального, рекомендуемого нормами, оставляем его для дальнейшего расчета.

В случае, если расход цемента по расчету окажется меньше допускаемого, следует принять его по табл. 8, а расход воды увеличить, сохранив прежнее Ц/В. Например, если расход воды составляет 160 кг, Ц/В=1,2, тогда Ц=192 кг, что меньше минимально допустимого расхода цемента. В таком случае принимаем Ц=220 кг (по табл. 8), Ц/В оставляем прежним, а расход воды корректируем:

$$B = \frac{Ц}{\frac{Ц}{B}} = \frac{220}{1,2} = 183 \text{ кг}.$$

5. Расход заполнителей определяем по формулам (13) и (14). Предварительно вычислим пустотность щебня по формуле (12):

$$\alpha_{\text{к}} = 1 - \frac{\rho_{\text{НК}}}{\rho_{\text{к}}} = 1 - \frac{1,53}{2,7} = 0,43 = 43\%.$$

В случае, если пустотность крупного заполнителя окажется более 45%, необходимо вернуться к п. 3 расчета, принять коэффициент качества заполнителей $A=0,55$ и выполнить расчет заново.

Далее необходимо определить значение коэффициента раздвижки зерен крупного заполнителя. Поскольку бетонная смесь подвижная (ОК=5...7 см), вначале вычисляем объем цементного теста по формуле (15):

$$V_{\text{ЦТ}} = \frac{Ц}{\rho_{\text{Ц}}} + \frac{B}{\rho_{\text{В}}} = \frac{262}{3,1} + \frac{175}{1} = 260 \text{ дм}^3.$$

Затем по графику (рис. 4) находим $k'_{\text{п.з.}} = 1,33$ и по формуле (16) корректируем его, внося поправку на водопотребность песка:

$$k_{\text{п.з.}} = k'_{\text{п.з.}} + (7 - B_{\text{п}}) \cdot 0,03 = 1,33 + (7 - 5) \cdot 0,03 = 1,39.$$

При таких значениях $\alpha_{\text{к}}$ и $k_{\text{п.з.}}$ расход крупного заполнителя составит по формуле (13):

$$K = \frac{1000}{\frac{\alpha_K \cdot k_{p.з.}}{\rho_{HK}} + \frac{1}{\rho_K}} = \frac{1000}{\frac{0,43 \cdot 1,39}{1,53} + \frac{1}{2,7}} = 1314 \text{ кг.}$$

Расход песка определяем по формуле (14):

$$\begin{aligned} \Pi &= \left[1000 - \left(\frac{Ц}{\rho_{Ц}} + \frac{B}{\rho_B} + \frac{K}{\rho_K} \right) \right] \cdot \rho_{\Pi} = \\ &= \left[1000 - \left(\frac{262}{3,1} + \frac{175}{1} + \frac{1314}{2,7} \right) \right] \cdot 2,65 = 673 \text{ кг.} \end{aligned}$$

Таким образом, расход материалов для приготовления 1 м^3 бетона составляет, кг:

Цемент	262
Вода	175
Песок	673
<u>Щебень</u>	<u>1314</u>
Итого:	2424

Следовательно, средняя плотность бетонной смеси составляет 2424 кг/м^3 .

6. Состав бетона в относительных единицах по массе:

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{B}{Ц} : \frac{\Pi}{Ц} : \frac{K}{Ц} = \frac{262}{262} : \frac{175}{262} : \frac{673}{262} : \frac{1314}{262} = 1 : 0,67 : 2,57 : 5,01$$

Для выражения состава бетона по объему предварительно определим объемы материалов в рыхлонасыпном состоянии по формулам (19):

$$V_{Ц} = \frac{Ц}{\rho_{цц}} = \frac{262}{1,3} = 202 \text{ дм}^3;$$

$$V_{\Pi} = \frac{\Pi}{\rho_{\Pi\Pi}} = \frac{673}{1,55} = 434 \text{ дм}^3;$$

$$V_K = \frac{K}{\rho_{HK}} = \frac{1314}{1,53} = 859 \text{ дм}^3.$$

Состав бетона в относительных единицах по объему:

$$\frac{V_{Ц}}{V_{Ц}} : \frac{V_B}{V_{Ц}} : \frac{V_{\Pi}}{V_{Ц}} : \frac{V_K}{V_{Ц}} = \frac{202}{202} : \frac{175}{202} : \frac{434}{202} : \frac{859}{202} = 1 : 0,87 : 2,15 : 4,25.$$

7. Рабочий состав бетона.

Масса воды, содержащейся в щебне при влажности 2%, равна $1314 \cdot 0,02 = 26$ кг, а в песке при влажности 4,5% – $673 \cdot 0,045 = 30$ кг.

Масса песка в этом случае составит:

$$П = 673 + 30 = 703 \text{ кг};$$

масса щебня:

$$К = 1314 + 26 = 1340 \text{ кг}.$$

Объемы рыхлонасыпанных песка и щебня определяют во влажном состоянии:

$$V'_П = \frac{П'}{\rho_{НП}^{вл}} = \frac{703}{1,40} = 502 \text{ дм}^3;$$

$$V'_К = \frac{К'}{\rho_{НК}^{вл}} = \frac{1340}{1,56} = 859 \text{ дм}^3.$$

Таблица 15

Расчет рабочего состава бетона

Материал	Расход материалов на 1 м ³ бетона			
	Лабораторный состав		Рабочий состав	
	кг	дм ³	кг	дм ³
Цемент	262	202	262	202
Песок	673	434	673+30=703	502
Крупный заполнитель	1314	859	1314+26=1340	859
Вода:				
в песке	–	–	30	30
в крупном заполнителе	–	–	26	26
добавленная	175	175	175–30–26=119	119
Всего воды	175	175	175	175

Расход материалов на 1 м³ бетона рабочего состава, кг:

Цемент	262
Вода	119
Песок	703
<u>Щебень</u>	<u>1340</u>
Итого:	2424

При этом истинное значение В/Ц остается неизменным (В/Ц=0,67), а кажущееся $B/C = 119/262 = 0,45$.

Рабочий состав бетона в относительных единицах по массе:

$$\frac{Ц'}{Ц'} : \frac{В'}{Ц'} : \frac{П'}{Ц'} : \frac{К'}{Ц'} = \frac{262}{262} : \frac{119}{262} : \frac{703}{262} : \frac{1340}{262} = 1 : 0,45 : 2,68 : 5,11.$$

Рабочий состав бетона в относительных единицах по объему:

$$\frac{V'_{Ц'}}{V'_{Ц'}} : \frac{V'_{В'}}{V'_{Ц'}} : \frac{V'_{П'}}{V'_{Ц'}} : \frac{V'_{К'}}{V'_{Ц'}} = \frac{202}{202} : \frac{119}{202} : \frac{502}{202} : \frac{859}{202} = 1 : 0,59 : 2,48 : 4,25.$$

8. Коэффициент выхода бетонной смеси рабочего состава определяем по формуле (20):

$$\beta = \frac{1000}{V'_{Ц'} + V'_{П'} + V'_{К'}} = \frac{1000}{202 + 502 + 859} = 0,64.$$

9. Дозировку материалов по рабочему составу на замес бетономесителя объемом $V=1200 \text{ дм}^3$ определяем по формулам (21):

$$Ц'_V = \frac{\beta \cdot V}{1000} \cdot Ц' = \frac{0,64 \cdot 1200}{1000} \cdot 262 = 201 \text{ кг};$$

$$В'_V = \frac{\beta \cdot V}{1000} \cdot В' = \frac{0,64 \cdot 1200}{1000} \cdot 119 = 91 \text{ кг};$$

$$П'_V = \frac{\beta \cdot V}{1000} \cdot П' = \frac{0,64 \cdot 1200}{1000} \cdot 703 = 540 \text{ кг};$$

$$К'_V = \frac{\beta \cdot V}{1000} \cdot К' = \frac{0,64 \cdot 1200}{1000} \cdot 1340 = 1029 \text{ кг}.$$

Объем бетона в одном замесе (по формуле (22)):

$$V_3 = \beta \cdot V = 0,64 \cdot 1200 = 768 \text{ дм}^3.$$

10. При выполнении данного задания состав бетона в относительных единицах по массе принимаем по п. 6:

$$1 : 0,67 : 2,57 : 5,01$$

Составляем уравнение теплового баланса (формула (23)):

$$c_B \cdot B \cdot (t_{Б.П.} - t_{Б.С.}) = c_{Ц} \cdot Ц \cdot (t_{Б.С.} - t_{Н.Ц.}) + c_3 \cdot (П + К) \cdot (t_{Б.С.} - t_3)$$

$$4,2 \cdot 0,67 \cdot (85 - 25) = 0,84 \cdot 1 \cdot (25 - (-5)) + 0,84 \cdot (2,57 + 5,01) \cdot (25 - t_3)$$

где: c_B , $c_{Ц}$, c_3 – удельные теплоемкости воды, цемента и запол-

нителей соответственно: $c_{Ц} = c_3 = 0,84 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$, $c_B = 4,2 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$;

$t_{B,II} = 85^{\circ}C$ – температура, до которой подогревают воду;

$t_{B,C} = 25^{\circ}C$ – заданная температура бетонной смеси;

$t_{H,Ц} = -5^{\circ}C$ – начальная температура цемента;

t_3 – определяемое значение температуры подогрева заполнителей, $^{\circ}C$.

Вместо $Ц$, B , II и K подставляем в уравнение теплового баланса соответствующие им части из выражения состава бетона в относительных единицах по массе.

Решая данное уравнение, находим $t_3 = +2,4^{\circ}C$.

Таким образом, чтобы бетонная смесь имела температуру $+25^{\circ}C$, заполнители необходимо нагреть на $17,4^{\circ}C$.

11а. На строительство поступил цемент марки 600, который предстоит использовать в бетоне с требуемой прочностью 26 МПа взамен ранее выбранного цемента марки 400. Поскольку в табл. 1 для бетона класса В20 цемент марки 600 не предусмотрен, необходимо ввести добавку–наполнитель, количество которой определяем по формуле (24):

$$a = \frac{R_{Ц} - R_{CM}}{R_{Ц}} = \frac{600 - 400}{600} = 0,33, \text{ или } 33\%.$$

Активность смешанного вяжущего принимаем $R_{CM} = 400 \text{ кгс/см}^2$ (по табл. 1), а цементно-водное отношение в бетоне на этом вяжущем останется таким же, как и в бетоне, изготавливаемом на цементе марки 400:

$$\frac{Ц_{CM}}{B} = \frac{R_T}{A \cdot R_{CM}} + 0,5 = \frac{260}{0,65 \cdot 400} + 0,5 = 1,5.$$

Полагая, что добавка не изменяет водопотребности бетонной смеси, определим расход смешанного вяжущего:

$$Ц_{CM} = \frac{Ц_{CM}}{B} \cdot B = 1,5 \cdot 175 = 262 \text{ кг}.$$

Следовательно, расход цемента марки 600 составит:

$$Ц' = Ц_{CM} \cdot (1 - a) = 262 \cdot (1 - 0,33) = 176 \text{ кг}.$$

Уменьшение расхода цемента составит:

$$\Delta Ц = Ц - Ц' = 262 - 176 = 86 \text{ кг}.$$

Предположим, что марка цемента соответствует рекомендуемой или меньше ее. Рассмотрим вариант, когда на стройку вместо выбранного цемента марки 400 поступил цемент марки 300.

Несмотря на нежелательное соотношение $R_{Ц}:R_T$, вычисляем значение $(Ц/B)'$ и новый расход цемента:

$$\left(\frac{Ц}{B}\right)' = \frac{R_T}{A \cdot R_{Ц'}} + 0,5 = \frac{260}{0,65 \cdot 300} + 0,5 = 1,83.$$

Расход цемента составит:

$$Ц' = \left(\frac{Ц}{B}\right)' \cdot B = 1,83 \cdot 175 = 320 \text{ кг}.$$

Перерасход цемента составит:

$$\Delta Ц = Ц' - Ц = 320 - 262 = 58 \text{ кг}$$

116. Воспользуемся для пересчета логарифмической зависимостью нарастания прочности бетона нормального твердения от времени (формула (25)):

$$R'_{28} = R_n \cdot \frac{\lg 28}{\lg n} = 260 \cdot \frac{\lg 28}{\lg 14} = 260 \cdot \frac{1,4471}{1,1461} = 328 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}.$$

Полученное значение R'_{28} подставляем в формулу для определения $Ц/B$ и затем при прежнем расходе воды находим новый расход цемента:

$$\left(\frac{Ц}{B}\right)' = \frac{R_T}{A \cdot R_{Ц'}} + 0,5 = \frac{328}{0,65 \cdot 400} + 0,5 = 1,76.$$

$$Ц' = \left(\frac{Ц}{B}\right)' \cdot B = 1,76 \cdot 175 = 308 \text{ кг}.$$

Увеличение расхода цемента составит:

$$\Delta Ц = Ц' - Ц = 308 - 262 = 46 \text{ кг}$$

12. Капиллярную пористость бетона определяем по формуле (26):

$$П_K = \frac{B - 2 \cdot w \cdot Ц}{1000} \cdot 100\% = \frac{175 - 2 \cdot 0,18 \cdot 262}{1000} \cdot 100\% = 8,1\%.$$

Общую пористость бетона рассчитываем по формуле (27):

$$П_B = \frac{B - w \cdot Ц}{1000} \cdot 100\% = \frac{175 - 0,18 \cdot 262}{1000} \cdot 100\% = 12,8\%.$$

13. Стоимость материалов для изготовления 1м³ бетона (состав бетона по п. 5) определяем с использованием цен, приведенных в табл. 9.

Таблица 16

Стоимость материалов для изготовления 1м³ бетона

Материал	Ед.	Цена за ед., руб.	Расход на 1 м ³ бетона	Стоимость на 1 м ³ бетона, руб.
Портландцемент ПЦ 400–Д20	т	3 450	0,262	904
Песок для строительных работ	м ³	500	0,434	217
Щебень (смесь фракций 5-40 мм)	м ³	1 600	0,859	1 374
Вода	м ³	25	0,175	4
ИТОГО:				2 499

Доля стоимости, приходящаяся на цемент, составит $904:2499=0,36$, или 36%.

Контрольные вопросы

1. Что называют бетоном?
2. Дайте классификацию бетонов в соответствии с ГОСТ 25192-2012.
3. Что такое класс бетона по прочности? Как его определить?
4. Как определить прочность бетона разрушающим методом?
5. Рассчитайте класс бетона по прочности, если при испытании двух серий по 15 образцов среднее значение прочности бетона составило 24 МПа, а коэффициент вариации 12%.
6. Определите требуемую прочность бетона при нормативном коэффициенте вариации ($K_T=1,3$), если проектный класс бетона В25.
7. Как выбрать вид и марку цемента для бетона?
8. Какие технические требования предъявляются к заполнителям для тяжелого бетона? Как оценить зерновой состав заполнителей для бетона?
9. Что называют бетонной смесью?
10. Каковы основные технические свойства бетонных смесей?
11. Как определить удобоукладываемость бетонной смеси по показателям подвижности и жесткости? Каким образом регулируется удобоукладываемость бетонной смеси?
12. В чем заключается закон прочности бетона? Приведите формулы, графики.
13. Тяжёлый бетон имеет следующий состав: портландцемент ПЦ 400-Д0 – 260 кг, вода – 170 кг, песок – 680 кг, щебень – 1290 кг. Заполнители рядового качества. Определите прочность бетона в возрасте 28 сут нормального твердения.
14. Запишите уравнение абсолютных объёмов. В чём заключается его физический смысл?
15. Запишите уравнение заполнения пустот крупного заполнителя цементно-песчаным раствором. В чём заключается его физический смысл?
16. Приведите последовательность расчета начального состава бетона. Чем лабораторный состав бетона отличается от рабочего состава?
17. Как определить общую пористость бетона?
18. Какие производственные факторы влияют на качество бетона?
19. Какие существуют способы ускорения твердения бетона?
20. При испытании бетонных образцов в возрасте 28 суток среднее значение прочности бетона оказалось 27 МПа. Определите ожидаемую прочность бетона в возрасте 60 суток нормального твердения.

Библиографический список

1. Строительные материалы. Материаловедение. Технология конструкционных материалов : учеб. для вузов / В.Г. Микульский [и др.]; под ред. В.Г. Микульского, Г.П. Сахарова. – [5-е изд., доп. и перераб.]. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 519 с.
2. Технология бетона : Учебник / Ю.М. Баженов. – 5-е изд. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 528 с.
3. Оценка качества строительных материалов : учебное пособие для вузов / К.Н. Попов, М.Б. Каддо, О.В. Кульков ; под общ. ред. К. Н. Попова. – Изд. 3-е, стер. – М.: Студент, 2012. – 287 с.
4. Технология строительных процессов. В 2 ч. Ч. 2: Учебник / В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лапидус. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 392 с.
5. Л.И. Дворкин, В.И. Гоц, О.Л. Дворкин. Испытания бетонов и строительных растворов. Проектирование их составов. – М.: Инфра-Инженерия, 2014. – 432 с.
6. ГОСТ 25192–2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования.
7. ГОСТ 27006–86. Бетоны. Правила подбора состава.
8. ГОСТ 18105–2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.
9. Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006–86). – М.: ЦИТП, 1990.
10. ГОСТ Р 55224–2012. Цементы для транспортного строительства. Технические условия.
11. ГОСТ 26633–2012. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические требования.
12. ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.
13. ГОСТ 30515–2013. Цементы. Общие технические условия.
14. ГОСТ 31108–2003. Цементы общестроительные. Технические условия.
15. ГОСТ 22266–2013. Цементы сульфатостойкие. Технические условия.
16. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
17. ГОСТ 8736–93. Песок для строительных работ. Технические условия.
18. ГОСТ 8735–88. Песок для строительных работ. Методы испытаний.
19. ГОСТ 8267–93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
20. ГОСТ 8269.0–97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы испытаний.
21. ГОСТ 7473–2010. Смеси бетонные. Технические условия.
22. ГОСТ 31384–2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ	5
2. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ	22
Контрольные вопросы	35
Библиографический список	36

БЕТОН

Составители: **Ефимов** Борис Александрович, **Сканави** Наталья Алексеевна,
Семенов Вячеслав Сергеевич

Подписано в печать 13.04.2015 г. И-43. Формат 60×84/16.
Усл.-печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,89. Тираж 150 экз. Заказ 102

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Московский государственный строительный университет».

129337, Москва, Ярославское ш., 26

Издательство МИСИ – МГСУ.

Тел. (495) 287-49-14, вн. 13-71, (499) 188-29-75, (499) 183-97-95.

E-mail: ric@mgsu.ru, rio@mgsu.ru.

Отпечатано в типографии Издательства МИСИ – МГСУ.

Тел. (499) 183-91-90, (499) 183-67-92, (499) 183-91-44