

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВОВ И  
ИСПЫТАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ**

**Методические указания**

к лабораторным работам  
для студентов строительных специальностей

Казань 2014

Составитель: Н.С.Шелихов

УДК 691:620

Проектирование составов и испытания тяжелых бетонов.

Методические указания к лабораторным работам по курсу «Строительные материалы»/ КГАСУ; Сост.: Н.С.Шелихов. Казань, 2014. – 26 с.

Методические указания составлены для лабораторных и самостоятельных занятий по теме «Проектирование составов и испытания тяжелых бетонов» курса «Строительные материалы».

В данных методических указаниях учтены последние изменения в нормативно-технической литературе, а также в программе курса «Строительные материалы».

Табл. 8, илл. 3, библиогр. 10 наим.

Рецензент: д.т.н. профессор кафедры ТСМИК Абдрахманова Л.А.

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2014г

## 1. Определение и классификация бетонов

**Бетоном называется** искусственный камневидный материал, представляющий собой затвердевшую бетонную смесь.

**Бетонной смесью называется** смесь вяжущих, заполнителей, затворителей и, при необходимости, добавок до ее укладки

Бетоны классифицируются по следующим признакам (ГОСТ 25192-82):

- основному назначению (конструкционные и специальные - жаростойкие, химические стойкие, декоративные, радиационно-защитные, теплоизоляционные и др.);
- виду вяжущего (на цементных вяжущих, известковых вяжущих, шлаковых вяжущих, гипсовых вяжущих, специальных вяжущих);
- виду заполнителей (на плотных заполнителях, пористых заполнителях, специальных заполнителях);
- структуре (плотной структуры, поризованной структуры, ячеистой структуры, крупнозернистой структуры);
- условиям твердения (в естественных условиях, в условиях тепловлажностной обработки при атмосферном давлении, в условиях тепловлажностной обработки при давлении выше атмосферного - автоклавного твердения).

Кроме того, бетоны могут подразделяться по средней плотности:  
особо тяжелый,  $\rho_0 > 2500 \text{ кг/м}^3$ ; тяжелый,  $\rho_0 = 1800-2500 \text{ кг/м}^3$ ;  
легкий,  $\rho_0 = 500-1800 \text{ кг/м}^3$ ; особо легкий,  $\rho_0 < 500 \text{ кг/м}^3$ ;

В настоящих методических указаниях рассматриваются только тяжелые, конструкционные бетоны

## 2. Свойства тяжелых бетонов

Свойства бетонов характеризуются прочностью при сжатии и изгибе, плотностью, проницаемостью для газов и жидкостей, морозостойкостью, усадкой и расширением, стойкостью к истиранию и др.

### 2.1. Прочность

**Прочность бетона характеризуют марками.**

Маркой бетона называется установленное стандартами значение предела прочности в  $\text{кгс/см}^2$  бетонных кубиков размером  $15 \times 15 \times 15 \text{ см}$  в возрасте 28 суток, твердевших при нормальных условиях твердения (относительная влажность не менее 95%, температура  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

При определении прочности бетона на кубиках других размеров, а также цилиндрах учитывают масштабный фактор и влажность образцов.

Размеры образцов в зависимости от наибольшей крупности заполнителя в пробе бетонной смеси приведены в табл. 1.

Таблица 1

Размеры образцов и крупность заполнителя

Наибольший размер заполнителя, мм	Наименьший размер образца (ребро куба, сторона поперечного сечения призмы или восьмерки, диаметра и высоты цилиндра), мм
20	100
40	150
70	200
100	300

Образцы изготавливают сериями. Серия должна состоять не менее, чем из двух образцов.

Таблица 2

Форма и размеры образцов в зависимости от вида испытания

Метод	Форма образца	Размеры образца, мм
Определение прочности на сжатие и на растяжение при раскалывании	Куб	Длина ребра: 100; 150; 200; 300
	Цилиндр	Диаметр $d$ : 100; 150; 200; 300 Высота $h$ , равная $2d$
Определение прочности на осевое растяжение	Призма квадратного сечения	100X100X400 150X150X600 200X200X800
	Цилиндр	Диаметр $d$ : 100; 150; 200; 300 Высота $h$ , равная $2d$
Определение прочности на растяжение при изгибе и при раскалывании	Призма квадратного сечения	100X100X400 150X150X600 200X200X800

Напряжение в образце должно возрастать непрерывно с постоянной скоростью:  $0,6 \pm 0,4$  МПа,  $(6 \pm 4)$  кгс/см<sup>2</sup> в секунду до его разрушения. При испытании на осевое растяжение, а также при испытании образцов – призм на

растяжение при изгибе скорость нагружения должна составлять  $0,05 \pm 0,02$  МПа,  $(0,5 \pm 0,2)$  кгс/см<sup>2</sup> в секунду.

Форма и размеры образцов в зависимости от вида испытания бетона, приводятся в табл. 2.

При определении прочности на осевое растяжение допускается применять образцы восьмерки по рис. 1 и табл. 3.

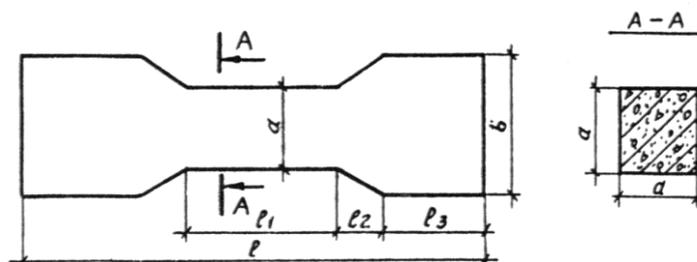


Рис. 1. Образец восьмерка.

Таблица 3

Размеры образцов для испытания на растяжение

Обозначение размера	Значение при поперечном сечении образца, мм			
	70X70	100X100	150X150	200X200
<i>a</i>	70	100	150	200
<i>b</i>	100	150	250	350
<i>l</i>	490	700	1050	1400
<i>l</i> <sub>1</sub>	210	300	450	600
<i>l</i> <sub>2</sub>	45	65	110	160
<i>l</i> <sub>3</sub>	95	135	180	250

За базовый принимают образец размерами рабочего сечения – 150 x 150 мм. Перед изготовлением образцов внутренние поверхности форм покрывают тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов. Образцы перед испытанием должны в течение 2-4 часов, находиться в помещении.

Прочность бетона, МПа (кгс/см<sup>2</sup>), следует вычислять с точностью до 0,1 МПа (1 кгс/см<sup>2</sup>) при испытаниях на сжатие и до 0,01 МПа (0,1 кгс/см<sup>2</sup>) при испытаниях на растяжение для каждого образца по формулам:

на сжатие

$$R = \alpha \frac{F}{A} k_w \quad (1)$$

на осевое растяжение

$$R_t = \beta \frac{F}{A} k_w \quad (2)$$

на растяжение при раскалывании

$$R_{tt} = \gamma \frac{2F}{\pi A} k_w \quad (3)$$

на растяжение при изгибе

$$R_{tf} = \delta \frac{F \cdot l}{ab^2} k_w \quad (4)$$

где  $F$  – разрушающая нагрузка, кгс;  $A$  – площадь рабочего сечения образца, см<sup>2</sup>;  $a$ ,  $b$ ,  $l$  – соответственно ширина, высота поперечного сечения призмы и расстояние между опорами при испытании образцов на растяжение при изгибе, см;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\delta$  – масштабные коэффициенты для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы;  $k_w$  – поправочный коэффициент для ячеистого бетона, учитывающий влажность образцов в момент испытания.

Допускается значения масштабных коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\delta$  для отдельных видов бетонов принимать по табл. 4.

Таблица 4

Значения масштабных коэффициентов

Форма и размеры образца, мм	Масштабные коэффициенты				
	Сжатия $\alpha$ , всех видов бетонов, кроме ячеистого	Растяжения при раскатывании $\gamma$		Растяжения при изгибе тяжелого бетона $\delta$	Осевого растяжения $\beta$
		тяжелого бетона	мелкозернистого бетона		
Куб (ребро) или квадратная призма (сторона) 70	0,85	0,78	0,87	0,86	0,85
100	0,95	0,88	0,92	0,92	0,92
150	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
200	1,05	1,10	1,05	1,15	1,08
300	1,10	–	–	1,34	–
Цилиндры (диаметр X высота)					
100X200	1,16	0,98	0,99	–	–
150X300	1,20	1,13	1,08	–	–
200X400	1,24	–	–	–	–
300X600	1,28	–	–	–	–

Прочность бетона в серии образцов определяют как среднее арифметическое значение в серии:

из двух образцов — по двум образцам;  
из трех образцов — по двум наибольшим по прочности образцам;  
из четырех образцов — по трем наибольшим по прочности образцам.  
из шести образцов — по четырем наибольшим по прочности образцам.

При необходимости определения прочности бетона в любом возрасте используется экспериментальная логарифмическая формула Б.Г. Скрамтаева.

$$R_n = R_{28} \frac{\log n}{\log 28} \quad (5)$$

где  $R_n$  – прочность бетона в любом возрасте, кгс/см<sup>2</sup> (формула справедлива при  $n > 3$ );  $R_{28}$  – прочность бетона (марка) в возрасте 28 суток, кгс/см<sup>2</sup>.

### **Прочность бетона также характеризуют классами.**

Классы бетона по прочности введены с целью обеспечения статистического контроля прочности. Статистический метод контроля прочности бетона позволяет достичь постоянства принятых при расчете конструкций нормативных сопротивлений (прочности) бетона.

При статистическом методе контроля требования к прочности бетона назначаются с учетом фактической однородности прочности, характеризуемой величиной коэффициента вариации прочности бетона. Классы бетона, обозначаемые символом **B**, отвечают его гарантированной прочности с обеспеченностью (доверительной вероятностью 0,95) и численно равны его нормативным сопротивлениям. Класс бетона определяется по формуле 6:

$$B=0,1M(1-1,64V) \quad (6)$$

где  $B$  – класс бетона,  $M$  – марка бетона (средняя прочность);  $V$  — коэффициент вариации (изменчивости) бетона. Для тяжелого бетона  $V = 0,135$ .

Установлена следующая шкала классов по прочности на сжатие: В I; В I,5; В 2; В 2,5; В 3,5; В 5; В 7,5; В I0; В I2,5; В I5; В 20; В 25; В 35; В 40; В 45; В 50; В 55, В 60.

Допускается изменение бетонов промежуточных классов В 22,5, В 27,5 (при условии, если это приводит к экономии цемента по сравнению с применением бетона соответственно классов В 25 и В 30). Действующая шкала классов бетона по прочности не совпадает с ранее действующей шкалой марок бетона по прочности на сжатие.

Например, М 15 — В I; М 25 — В 2.

Условная марка бетона (М) определяется по формуле 7:

$$M = \frac{B}{0,98(1-1,64V)} \quad (7)$$

где В – численное значение класса бетона МПа; 0,980665 — переходный коэффициент от МПа к кгс/см<sup>2</sup>; V – номинальное значение коэффициента вариации прочности бетона.

Контроль прочности бетона проводится статистическим методом, позволяющим достичь постоянства принятой при расчете конструкции обеспеченности нормативных сопротивлений бетонов (классов).

Статистический метод контроля позволяет учитывать фактическую однородность прочности, которая характеризуется величиной коэффициента вариации прочности бетона. При изготовлении единичных конструкций, когда нет возможности получить необходимое число результатов для статистических характеристик, допускается нестатистический метод контроля прочности бетона.

Однородность прочности бетона характеризуется среднеквадратическим отклонением S и коэффициентом вариации V. Определение показателей однородности прочности бетона приводится отдельно для каждого технологического комплекса.

Средняя прочность бетона в партии  $\bar{R}$  вычисляется как среднее арифметическое значение результатов единичных испытаний по формуле 8:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad (8)$$

где  $\bar{R}$  – единичный результат (средняя прочность бетона серии образцов, конструкции или участка конструкции); n – число единичных результатов (серий образцов, конструкций или участков конструкций).

Среднее квадратичное отклонение для партии бетона или отдельно принимаемой конструкции вычисляется по формуле 9:

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (R_i - \bar{R})^2}}{n - 1} \quad (9)$$

Коэффициент вариации прочности бетона в процентах в партии или в отдельной конструкции вычисляется по формуле 10:

$$V = \frac{S}{R} \quad (10)$$

Прочность бетона может быть определена также и ускоренным методом путем прогрева по определенному режиму образцов. При определении прочности бетона могут быть применены и неразрушающие методы: с помощью ультразвука, эталонного молотка Кашкарова, метод ускоренного определения на сжатие.

## 2.2. Морозостойкость

Морозостойкость бетона - способность сохранять физико-механические свойства при многократном переменном замораживании и оттаивании. Морозостойкость бетона характеризуют соответствующей маркой по морозостойкости F.

Марка бетона по морозостойкости F - установленное нормами минимальное число циклов замораживания и оттаивания образцов бетона, испытанных по базовым методам, при которых сохраняются первоначальные физико-механические свойства в нормируемых пределах (снижение прочности не более 3% по сравнению со средней прочностью на сжатие контрольных образцов). Цикл испытания - совокупность одного периода замораживания и оттаивания образцов, насыщенных водой.

Замораживание производится на воздухе ( $-18 \pm 2^\circ\text{C}$ ), оттаивание в воде ( $18 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Используются: - основные образцы - образцы, предназначенные для замораживания и оттаивания (испытания);

- контрольные образцы - образцы, предназначенные для определения прочности бетона на сжатие перед началом испытания основных образцов.

Морозостойкость бетона может быть определена и ускоренными методами (ГОСТ 10060.2-95 - ГОСТ 10060.4-95).

Для тяжелых бетонов установлены следующие марки по морозостойкости: F50; F75; F100; F150; F200; F300; F400; F500; F600; F800; F1000.

## 2.3. Водонепроницаемость

Водонепроницаемость бетона – это способность бетона сопротивляться просачиванию воды.

Марка бетонов по водонепроницаемости определяется максимальной величиной давления воды, при котором не наблюдается ее просачивания через образцы, изготовленные и испытанные на водонепроницаемость согласно требованиям действующих государственных стандартов. Для тяжелых бетонов установлены следующие марки по водонепроницаемости: W2; W4; W6; W8; W10; W12; W14; W16; W18; W20.

### **3. Расчет состава тяжелого бетона с заданными свойствами**

Подбор состава тяжелого бетона сводится к установлению рационального соотношения между компонентами бетонной смеси, определению её номинального состава, корректировке рабочего состава, расчету и передаче в производство рабочих дозировок.

Подобранный состав должен обеспечить заданную удобоукладываемость бетонной смеси и заданную прочность бетона при минимальном расходе цемента. Удобоукладываемость характеризуется подвижностью (осадкой конуса ОК, см) или жесткостью (Ж, сек)

До начала расчета необходимо проверить качество всех исходных материалов. Настоящие методические указания используют метод расчета по абсолютным объемам, предложенный профессором Б.Г. Скрамтаевым.

Расчет ведется на 1000 литров бетонной смеси.

#### **Пример расчета состава бетона**

Задание:

Подобрать состав бетона для железобетонного монолитного перекрытия в промышленном здании. Конструкция насыщена арматурой. Содержание арматуры – более 1%, минимальное расстояние между стержнями арматуры – 60 мм. Толщина плиты 100 мм. Марка бетона "200" (принимается по чертежам конструкции). Подвижность бетонной смеси можно принять в зависимости от размеров конструкции и густоты армирования. Рекомендуется бетонная смесь подвижностью 4-6 см. Наибольшая крупность заполнителя может быть принята не более 1/3 толщины плиты и не более 3/4 расстояния между стержнями арматуры в свету.

Следовательно, наибольшая крупность гравия может быть принята равной 20-40 мм.

## Характеристики материалов

Портландцемент марки "400":

плотность,  $\rho_{ц} = 3,1 \text{ г/см}^3$  или  $3,1 \text{ кг/л}$ ;

насыпная плотность,  $\rho_{н.ц} = 1300 \text{ кг/м}^3$ .

Песок средней крупности  $M_{кр} = 2,4$  по зерновому составу соответствует стандарту;

плотность,  $\rho_{п} = 2,61 \text{ г/см}^3$ ;

насыпная плотность,  $\rho_{н.п} = 1400 \text{ кг/м}^3$

Гравий: наибольшая крупность,  $D_{нб} = 40 \text{ мм}$ ;

плотность,  $\rho_{гр} = 2,6 \text{ г/см}^3$ ;

насыпная плотность,  $\rho_{н.гр} = 1510 \text{ кг/м}^3$ ;

пустотность,  $\Pi = 42 \%$ ;

коэффициент пустотности,  $K_{п} = 0,42$ ;

Вода питьевая водопроводная.

### **Последовательность расчета состава тяжелого бетона**

(проводится на  $1 \text{ м}^3$ )

#### 3.1. Определение цементно-водного отношения

Цементно-водное отношение вычисляют по формулам прочности бетона:

для подвижных смесей

$$R_6 = A \cdot R_{ц} (\text{Ц/В} - 0,5), \text{ при } \text{Ц/В} \leq 2,5 \text{ или } \text{В/Ц} \geq 0,4 \quad (11)$$

для жестких смесей

$$R_6 = A_1 \cdot R_{ц} (\text{Ц/В} + 0,5), \text{ при } \text{Ц/В} > 2,5 \text{ или } \text{В/Ц} < 0,4 \quad (12)$$

где  $R_6$  — предел прочности бетона нормального твердения в возрасте 28 суток (марка);  $A$  и  $A_1$  — коэффициенты, характеризующие качество материалов;  $\text{Ц/В}$  — цементно-водное отношение (по массе).

$$\frac{\text{Ц}}{\text{В}} = \frac{R_6}{AR_{ц}} + 0,5 = 200/(0,55 \times 400) + 0,5 = 0,43; \quad \text{В/Ц} = 1/0,43 = 2,33 \quad (13)$$

где  $A$  — эмпирический коэффициент принимается по табл. 5 (материалы пониженного качества).

Таблица 5

Значения коэффициентов А и А<sub>1</sub>

№ п/п	Характеристики исходных материалов	А при Ц/В ≤ 2,5	А при Ц/В > 2,5
1	Высококачественные (щебень из плотных пород, заполнители чистые, фракционированные, оптимального зернового состава. Портландцемент высокой активности).	0,65	0,43
2	Рядовые (гравий соответствует стандарту, портландцемент средней активности).	0,6	0,4
3	Пониженного качества (крупный заполнитель низкой прочности, цемент низкой активности).	0,55	0,37

### 3.2. Определение расхода воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

Расход воды может быть определен по таблице водопотребности (табл. 7) или по графику проф. Миронова (в указаниях не представлен) в зависимости от заданной пластичности бетонной смеси и наибольшей крупности гравия (см. характеристику исходных материалов).

Таблица 6

Таблица водопотребности

Характеристика бетонной смеси		Расход воды		
		Наибольшая крупность заполнителя, мм		
Осадка конуса, см	Удобоукладываемость, сек.	10	20	40
0	150-200	145	130	120
0	90-120	150	135	125
0	60-80	160	145	130
0	30-50	165	150	135
0	15-30	175	160	145
1		185	170	155
2		190	175	160
3		195	180	165
5		200	185	170
7		205	190	175
8		210	195	180
10		215	200	185

**Примечание:** данные таблицы справедливы для бетона на портландцементе, песке средней крупности при использовании в качестве крупного заполнителя гравия. Водосодержание бетонной смеси увеличивается при

применении пуццоланового портландцемента на 15-20 л; замене гравия щебнем – на 10 л; мелком песке – на 10 л.

Расход воды в нашем примере на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси – 175 л.

### 3.3. Определение расхода цемента:

$$Ц = \left( \frac{Ц}{B} \right) \cdot B = 1,75 \times 1,43 = 250 \text{ кг}; V_{ц} = 250 / 3,1 = 90,6. \quad (14)$$

### 3.4. Определение абсолютного объема цементного теста

$$V_{ц.т.} = B + V_{ц} = 175 + 90,6 = 256 \text{ л} \quad (15)$$

### 3.5. Расчет количества заполнителей

Сумма абсолютных объемов всех составных частей бетона должна равняться 1 м<sup>3</sup> (1000 л) и выражается уравнением (16):

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Гр}{\rho_{гр}} + B = 1000 \quad (16)$$

Цементно-песчаный раствор заполняет пустоты в крупном заполнителе с некоторой раздвижкой зерен и его количество определяется выражением:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{П}{\rho_{п}} + B = K_{п} \frac{Гр}{\rho_{н.гр}} \alpha \quad (17)$$

$\alpha$  - коэффициент раздвижки зерен крупного заполнителя, определяется по табл. 8.

Таблица 7

Значения коэффициента  $\alpha$

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Значения $\alpha$				
	В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
200	-	-	-	1,22	1,28
250	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	1,3	1,36	1,42	1,48
350	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,40	1,46	-	-	-

Решая совместно уравнения (16) и (17), находим формулу для определения потребности в гравии (щебне).

$$\Gamma_{\text{гр}} = \frac{1000}{\frac{K_{\text{п}}}{\rho_{\text{н.гр}}} \alpha + \frac{1}{\rho_{\text{гр}}}} \quad (18)$$

Подставляя в формулу (18) значения, определяем расход гравия

$$\Gamma_{\text{гр}} = 1000 / [(0,42 \cdot 1,32 / 1,51) + (1 / 2,6)] = 1330,5 \text{ кг.}$$

Расход песка определим по формуле

$$\Pi = \left[ 1000 - \left( \frac{\Gamma_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}}} + \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{ц}}} + \text{В} \right) \right] \rho_{\text{п}} \quad (19)$$

$$\Pi = (1000 - (1330,5 / 2,6) - 255,64) \cdot 2,61 = 607 \text{ кг.}$$

Расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона (номинальный состав):

Цемент=250 кг;

Песка= 607 кг;

Гравия=1330 кг;

Воды = 175 кг;

Всего= 2362 кг.

Таким образом, теоретическая средняя плотность бетонной смеси

$$\rho_{\text{б.см.}} = 2363 \text{ кг/м}^3.$$

### 3.6. Экспериментальная проверка расчетного состава бетонной смеси

Расчетный состав бетонной смеси может быть выдан на производство только после экспериментальной проверки его пластичности, прочности (после затвердевания), а в отдельных случаях морозостойкости, истираемости, водопроницаемости и других специальных свойств.

Количество бетонной смеси для определения пластичности и прочности (марки) выбирается в зависимости от размеров образцов и объема конуса:

а) образцы — кубы 10x10x10 см — 6 литров;

б) образцы — кубы 15x15x15 см — 11 литров;

в) образцы — кубы 10x10x10 см — (3 шт.) и балочки размером 10x10x40 см (для дорожных бетонов) — 16 литров.

Если при проверке подвижности бетонной смеси окажется, что смесь имеет избыточную подвижность, то к ней добавляют песок и гравий, не меняя соотношения между ними. Если пластичность окажется недостаточной, то добавляют цемент и воду, не нарушая цементно-водного отношения.

После проверки пластичности изготавливают образцы для испытания бетона на прочность, согласно приведенной выше методике. Оставшуюся неиспользованной бетонную смесь помещают в форму 10x10x10 см или 15x15x15 см, подвергают вибрации и замеряют, объем бетонной смеси.

Значение средней полученной плотности экспериментальным способом сравнивают с теоретическим значением, полученным ранее по расчету.

Разница между ними может быть не более 3 %. Расхождение этих значений может быть вызвано ошибками в расчете состава или неточным определением характеристик исходных материалов.

Выход бетонной смеси ( $V_{б.см.}$ ) в уплотненном состоянии определяют подсчетом объема бетонной смеси во всех формах.

Экспериментальная средняя плотность полученной смеси подсчитывается по формуле (20):

$$\rho_{б.см} = \frac{m_{ц} + m_{в} + m_{гр} + m_{п}}{V_{б.см}} \quad (20)$$

где  $m_{ц}$ ,  $m_{в}$ ,  $m_{гр}$ ,  $m_{п}$  — масса всех компонентов бетонной смеси, кг.

Если объем полученной бетонной смеси отличается от расчетного объема, то расход материалов на 1 м<sup>3</sup> следует скорректировать. Например, расчетный объем был равен 6 л, после изготовления получили 5,7 л.

Отсюда поправочный коэффициент:  $K = 6 : 5,7 = 1,053$ .

Прочность бетона принятого состава проверяют по результатам испытания образцов-кубиков. Часто при испытании получают избыточную или недостаточную прочность. Объясняется это тем, что расчетной формуле прочности бетона (по которой определяют водоцементное отношение) коэффициент А не учитывает с достаточной точностью качественное разнообразие крупного и мелкого заполнителей.

Поэтому при экспериментальной проверке бетона необходимо изготовить еще не менее двух смесей, из которых одна будет иметь уменьшенное, а другая – увеличенное значение водоцементного отношения против расчетно-

го на 5-7 %. Кроме того, в случае изготовления большого количества бетона, рекомендуется изготовить смесь с меньшим и большим соотношением заполнителей (песок-гравий) в отличие от основного. Из всех составов выбирают состав наиболее экономичный по расходу цемента и соответствующий проектной марке.

#### 4. Расчет расхода материалов на замес бетономешалки

Каждая бетономешалка имеет определенную емкость смесительного устройства. Объем материалов, который можно загрузить в бетономешалку до перемешивания, называют загрузочной емкостью.

Бетономешалки выпускают с загрузочной емкостью 250, 425, 500, 1200, 2400 л.

Если бетономешалку загрузить компонентами смеси, суммарный объем которых превысит загрузочную емкость, то бетонная смесь будет неоднородной в течение времени, отведенного для перемешивания.

И наоборот, недогруженная бетономешалка будет работать непроизводительно.

Расчет на замес может быть выполнен с учетом коэффициента выхода бетонной смеси.

Коэффициентом выхода бетонной смеси  $\beta$  называют отношение объема смеси к сумме насыпных объемов сухих исходных компонентов.

Расчет можно вести по расходу материалов на 1000 л или по объему пробного замеса:

$$\beta = \frac{V_{б.см}}{\frac{Ц}{\rho_{н.ц}} + \frac{П}{\rho_{н.п}} + \frac{Гр}{\rho_{н.гр}}} \quad (21)$$

где  $\beta$  – коэффициент выхода (0,55-0,70);  $V_{б.см}$  – объем полученной бетонной смеси в л; Ц, П, Гр – масса цемента, песка, гравия на принятый объем бетонной смеси ( $V_{б.см.}$ );  $\rho_{н.ц}$ ,  $\rho_{н.п}$ ,  $\rho_{н.гр}$  – насыпные плотности цемента, песка и гравия.

Дозировка материалов на замес бетономешалки определяется по формулам:

$$Ц_v = \frac{\beta \cdot V \cdot Ц}{1000} \quad (22)$$

$$П_v = \frac{\beta \cdot V \cdot П}{1000} \quad (23)$$

$$Гр_v = \frac{\beta \cdot V \cdot Гр}{1000} \quad (24)$$

$$В_v = \frac{\beta \cdot V \cdot В}{1000} \quad (25)$$

где  $Ц_v, П_v, Гр_v, В_v$  количество цемента, песка, гравия, воды на замес бетономешалки, кг;  $Ц, П, Гр, В$  — расход цемента, песка, гравия, воды на 1000 л;  $V$  — загрузочная емкость бетономешалки, л.

В производственных условиях заполнители для бетона часто хранятся без укрытия и могут иметь значительную влажность. Поэтому необходимо несколько раз в день определять влажность песка и гравия и вносить соответствующие коррективы в дозировку материалов на замес бетономешалки.

$$\text{Расход песка } П_w = П_v + П_v (0,01W_{п}); \quad (26)$$

$$\text{Расход гравия } Гр_w = Гр_v + Гр_v (0,01W_{гр}); \quad (27)$$

$$\text{Расход воды } В_w = В_v - П_v (0,01W_{п}) - Гр_v (0,01 W_{гр}), \quad (28)$$

где  $W_{п}$  и  $W_{гр}$  — влажность песка и гравия в % по массе.

Полученная бетонная смесь расчетного состава подвергается испытанию.

## 5. Свойства и испытание бетонной смеси

Бетонная смесь характеризуется **удобоукладываемостью** - способностью формироваться, приобретая заданную форму без разрывов и расслаивания на отдельные составляющие при заданном способе уплотнения.

Удобоукладываемость характеризуется подвижностью (для подвижных смесей), жесткостью (для жестких смесей) и расслаиваемостью.

**Подвижность бетонной смеси** характеризуется измеряемой в сантиметрах величиной осадки конуса (ОК), отформованного из бетонной смеси, подлежащего испытанию.

Для определения подвижности бетонной смеси применяются конус № 1 (при наибольшей крупности зерен заполнителя до 40 мм) и конус № 2 (при наибольшей крупности зерен заполнителя 70 и 100 мм). Размеры стандартных конусов (№ 1 и № 2) приводятся в табл. 9 и на рис. 2

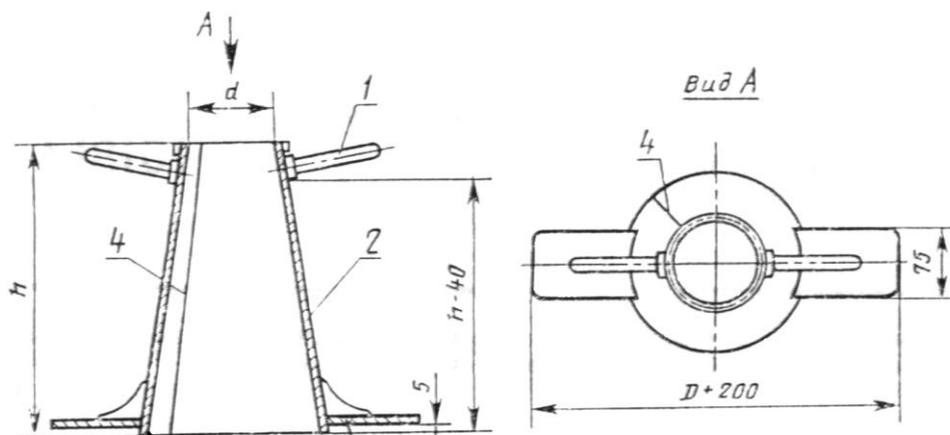


Рис. 2. Прибор для определения подвижности бетонной смеси:  
1 - ручка; 2 - корпус прибора; 3 - упоры; 4 - сварной шов

Таблица 8

Наименование конуса	Размеры конуса		
	Внутренние размеры конуса, мм		
	D	D	h
Обычный	100±1	200±1	300±1
Увеличенный	150±1	300±1	450±1

С целью улучшения подвижности бетонной смеси, которая обуславливает удобоукладываемость (способность хорошо заполнять форму, хорошо уплотняться и давать наибольшую плотность изготавливаемых конструкций), в нее могут быть введены специальные добавки — пластификаторы и суперпластификаторы.

Бетонные смеси, осадка конуса которых равна нулю, называются жесткими и особо жесткими.

**Жесткость бетонной смеси (Ж)** характеризуется временем в секундах от начала вибрирования отформованной штыкованием или кратковременны-

ми вибрированиями бетонной смеси, помещенной в технический визкозиметр, до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из расплывшейся бетонной смеси по двум отверстиям диска прибора для определения жесткости бетонной смеси.

### 5.1. Методика определения подвижности и жесткости бетонной смеси

При определении подвижности бетонной смеси в зависимости от наибольшей крупности заполнителя пользуются стандартным усеченным конусом № 1 или № 2.

Для подготовки конуса и приспособлений к испытаниям все соприкасающиеся с бетонной смесью поверхности следует очистить и протереть влажной тканью.

Конус устанавливают на гладкий металлический лист и заполняют его бетонной смесью через воронку в три слоя одинаковой высоты.

Каждый слой уплотняют штыкованием металлическим стержнем:

- в конусе №1 25 раз;
- в конусе №2 56 раз.

Конус во время наполнения и штыкования должен быть плотно прижат к листу. После уплотнения бетонной смеси в конусе воронку снимают и избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями конуса.

Конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси и устанавливают рядом с ней. Время, затраченное на съём конуса, должен составлять 3-7 секунд.

Осадку конуса бетонной смеси определяют, укладывая металлическую линейку ребром по верху конуса и измеряя расстояние от нижней грани линейки до верха бетонной смеси с погрешностью до 0,5 см.

Величину осадки конуса бетонной смеси, определенную в увеличенном конусе, приводят к величине осадки обычного конуса умножением величины осадки бетона увеличенного конуса на переводной коэффициент 0,67.

Осадку конуса бетонной смеси определяют дважды. Общее время испытания с начала наполнения конуса бетонной смесью при первом определении и до момента измерения осадки конуса при втором определении не должно превышать 10 мин.

Осадку конуса бетонной смеси вычисляют с округлением до 1,0 см как среднее арифметическое результатов двух определений осадки конуса из одной пробы, отличающихся между собой не более чем:

- на 1 см при ОК  $\leq 4$  см;
- на 2 см при ОК = 5-9 см;
- на 3 см при ОК  $\geq 10$  см.

При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе.

Если осадка конуса бетонной смеси будет равна нулю, смесь признают не обладающей подвижностью, и она должна характеризоваться жесткостью.

Жесткость бетонной смеси Ж характеризуется временем вибрации (в секундах), необходимых для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в приборе для определения жесткости показанном на рис. 3.

Жесткость бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупностью до 40 мм включительно определяют на лабораторной виброплощадке.

Прибор на виброплощадке устанавливают и собирают в следующем порядке: устанавливают и жестко закрепляют цилиндрическое кольцо прибора 1, в которое вставляют конус 2 и закрепляют его ручками 3, заводя их в пазы кольца, после чего устанавливают воронку 4.

Заполнение конуса прибора бетонной смесью, ее уплотнение и снятие конуса с отформованной смеси производят по методике, используемой при определении подвижности смеси. Поворотом штатива 5 диск 8 устанавливают над отформованным конусом бетонной смеси и плавно опускают его на поверхность конуса смеси. Штатив закрепляют в фиксирующей втулке 7 зажимным винтом.

Затем одновременно включают виброплощадку и секундомер и наблюдают за выравниванием и уплотнением бетонной смеси. Вибрирование производят до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из любых двух отверстий диска. В этот момент выключают секундомер и вибратор. Полученное время (в секундах) характеризует жесткость бетонной смеси.

Жесткость бетонной смеси определяют дважды. Общее время испытания с начала заполнения конуса бетонной смесью в установленном приборе при первом определении и до окончания определения жесткости при втором определении не должно превышать 15 мин.

Жесткость бетонной смеси вычисляют с округлением до 1 с как среднее арифметическое результатов двух определений жесткости из одной пробы смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 %. При большем расхождении результатов определение повторяют.

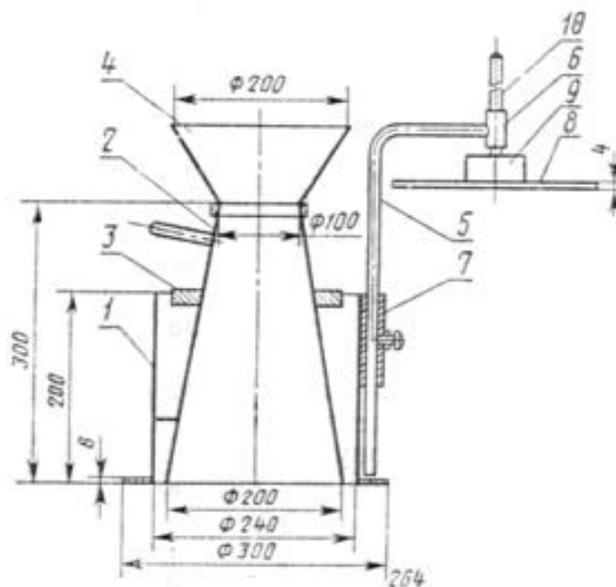


Рис. 3. Прибор для определения жесткости бетонной смеси: 1 - цилиндрическое кольцо с фланцем в основании; 2 - конус; 3 - кольцо-держатель с ручками; 4 - загрузочная воронка; 5 - штатив; 6 - направляющая втулка; 7 - фиксирующая втулка с зажимным винтом; 8 - диск с шестью отверстиями; 9 - стальная шайба; 10 - штанга.

## 6. Методика изготовления образцов бетона для испытаний

### 6.1. Формование и уплотнение образцов

Перед использованием форм их внутренние поверхности должны быть покрыты тонким слоем смазки, не оставляющей пятен на поверхности образцов и не влияющей на свойства поверхностного слоя бетона.

Укладку и уплотнение бетонной смеси следует производить не позднее, чем через 20 мин после отбора пробы.

При изготовлении одной или нескольких серий образцов, предназначенных для определения различных характеристик бетона, все образцы следует изготавливать из одной пробы бетонной смеси и уплотнять их в одинаковых условиях. Отклонения между собой значений средней плотности бетона отдельных серий и средней плотности отдельных образцов в каждой серии к моменту их испытания не должны превышать  $50 \text{ кг/м}^3$ .

При несоблюдении этого требования результаты испытаний не учитывают.

При производственном контроле формирование контрольных образцов, а также контрольных блоков из ячеистых бетонов следует производить по той же технологии, и с теми же параметрами уплотнения, что и конструкции. В случаях, когда эти условия не могут быть выполнены, а также при лабораторных исследованиях образцы из тяжелого и легкого бетонов формируют следующим образом.

Формы заполняют бетонной смесью слоями высотой не более 100 мм. Каждый слой укладывают штыкованием стальным стержнем диаметром 16 мм с закругленным концом. Число нажимов стержня рассчитывают из условия, чтобы один нажим приходился на  $10 \text{ см}^2$  верхней открытой поверхности образца, штыкование выполняют равномерно по спирали от краев формы к ее середине.

При подвижности бетонной смеси менее 10 см или жесткости менее 11 с форму с уложенной бетонной смесью жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и дополнительно уплотняют, вибрируя до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности, появлением на ней тонкого слоя цементного теста и прекращением выделения пузырьков воздуха.

При изготовлении образцов из бетонной смеси жесткостью 11 секунд и более на форме закрепляют насадку. Форму с насадкой жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и устанавливают на поверхность смеси пригруз, обеспечивающий давление  $4 \pm 0,5 \text{ кПа}$ , и вибрируют до прекращения оседания пригруза плюс дополнительно 5 – 10 сек.

После окончания укладки и уплотнения бетонной смеси в форме верхнюю поверхность образца заглаживают мастерком или пластиной.

В случаях применения на производстве способов и режимов уплотнения бетона, приводящих к изменению его состава, способ изготовления контрольных образцов бетона или поправочный коэффициент к прочности об-

разцов должен быть указан в стандартах или технических условиях на сборные конструкции или в рабочих чертежах монолитных конструкций.

Образцы в цилиндрических формах после заглаживания верхней поверхности закрывают крышками, кладут на боковую сторону и хранят в таком положении до извлечения из форм.

Непосредственно после изготовления образцов на них должна быть нанесена маркировка. Маркировка не должна повреждать образец или влиять на результаты испытания.

## 6.2. Твердение, хранение и транспортирование бетона

Образцы, предназначенные для твердения в нормальных условиях, после изготовления до распалубливания хранят в формах, покрытых влажной тканью или другим материалом, исключающим возможность испарения из них влаги, в помещении с температурой воздуха  $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ .

При определении прочности бетона на сжатие образцы распалубливают не ранее чем через 24 часа для бетонов класса В 7,5 (М100) и выше, и не ранее чем через 48 часов — для бетонов класса В 5 (М75) и ниже, а также для бетонов с добавками, замедляющими их твердение в раннем возрасте.

При определении прочности бетона на растяжение образцы распалубливают не ранее чем через 96 ч после их изготовления.

После распалубливания образцы должны быть помещены в камеру, обеспечивающую у поверхности образцов нормальные условия, т. е. температуру  $(20\pm 3)^\circ\text{C}$  и относительную влажность воздуха  $(95\pm 5)\%$ . Образцы укладывают на подкладки так, чтобы расстояние между образцами, а также между образцами и стенками камеры было не менее 5 мм. Площадь контакта образца с подкладками, на которых он установлен, не должна составлять более 30 % площади опорной грани образца. Образцы в камере нормального твердения не должны непосредственно орошаться водой. Допускается хранение образцов в слое влажного песка, опилок или других систематически увлажняемых гигроскопичных материалов.

Образцы, предназначенные для твердения в условиях тепловой обработки, должны быть помещены в формах в тепловой агрегат (пропарочную камеру, автоклав, отсек формы или кассеты и т.д.) и твердеть там вместе с конструкциями или отдельно по принятому на производстве режиму.

После окончания тепловой обработки образцы извлекают из форм, испытывают или хранят в нормальных условиях.

Образцы, предназначенные для твердения в условиях, аналогичных условиям твердения бетона в монолитных конструкциях, могут твердеть или в формах, или в распалубленном виде.

Допускаются другие условия твердения образцов, например, водное или комбинированное, если эти условия установлены стандартами, техническими условиями или указаны в рабочих чертежах конструкции.

При транспортировании образцов бетона необходимо предохранять их от повреждений, изменения влажности и замораживания.

Прочность бетона образцов к началу их транспортирования должна быть не менее 2 МПа.

## **7. Техника безопасности при выполнении лабораторных работ**

Перед началом работ по изготовлению и испытанию бетонных и растворных смесей проверить наличие необходимых приборов, все лишнее с рабочих мест должно быть убрано. После приготовления бетонной и растворной смеси рабочее место привести в порядок, инструменты и приспособления вычистить, положить на место.

При испытании образцов-кубиков из бетона и раствора должны соблюдаться правила техники безопасности при работе на гидравлических прессах ПСУ-10, ПСУ-50.

К работе на гидравлических прессах допускаются сотрудники кафедры, прошедшие инструктаж по технике безопасности. Студентам разрешается работать на прессах под руководством преподавателя кафедры и только после прохождения инструктажа, о чем должна быть сделана соответствующая запись в журнале.

### **Контрольные вопросы**

1. Что называется бетонной смесью?
2. Какая бетонная смесь называется пластичной? Как определяется пластичность бетонной смеси?
3. Какая бетонная смесь называется жесткой? В каких единицах измеряется степень жесткости бетонной смеси и как она определяется?
4. Что называется бетоном и какими свойствами он характеризуется?
5. Что называется маркой бетона? Какие марки бетона вы знаете?

6. Как определяется марка бетона?
7. Что называется классом бетона?
8. Какое принципиальное отличие класса бетона от марки?
9. Какое практическое значение имеют классы бетона?
10. На чем основывается расчет состава тяжелого бетона? Какие свойства исходных (каких) материалов должны быть заранее определены?
11. Какие формулы необходимо использовать при расчете состава бетона? Каков их физический смысл?
12. Какие свойства бетонной смеси и бетона проверяются экспериментально?
13. Что такое коэффициент выхода бетонной смеси (его физический смысл)?
14. Как учитывается естественная влажность заполнителей?
15. Как определяется расход материалов на один замес бетоносмесителя?

### Задачи

1. Рассчитать номинальный (лабораторный) состав тяжелого бетона для массивных армированных конструкций. Требуется бетон М 300. Материалы: портландцемент М 400 плотностью  $\rho_{\text{ц}} = 3,1$  кг/л; песок средней крупности влажностью 7 %; плотностью  $\rho_{\text{п}} = 2,63$  кг/л и насыпной плотностью  $\rho_{0\text{п}} = 1,58$  кг/л; гранитный щебень с предельной крупностью 40 мм, плотностью  $\rho_{\text{гр}} = 2,60$  кг/л и насыпной плотностью  $\rho_{0\text{гр}} = 1,48$  кг/л. Заполнители рядовые.
2. Вычислить расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси с средней плотностью  $\rho_{0\text{см}} = 2300$  кг/м<sup>3</sup> и водоцементном соотношением В/Ц=0,42, если производственный состав бетона выражен соотношением по массе Ц:П:Щ =1:2:4 (цемент : песок : щебень).

## ЛИТЕРАТУРА:

1. Строительные материалы (Материаловедение. Технология конструкционных материалов): учебник для студ. вузов, обуч. по строит. спец. / под общ. ред. В.Г. Микульского, Г.П. Сахарова. - М. : АСВ, 2007. - 520с.
2. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия
3. ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Методы испытаний
4. ГОСТ 25192-82 Бетоны. Классификация и общие технические требования
5. ГОСТ 26633-91. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия
6. ГОСТ Р 53231-2008 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности
7. ГОСТ 4.212-80 Система показателей качества продукции. Строительство. Бетоны. Номенклатура показателей
8. ГОСТ 27006-86. Бетоны. Правила подбора состава
9. ГОСТ 10060.0-95 - ГОСТ 10060.4-95 Бетоны. Методы определения морозостойкости.
10. ГОСТ 12730.0-78 – ГОСТ 12730.5-78. Бетоны. Методика определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.

Проектирование составов и испытания  
тяжелых бетонов

Методические указания  
к лабораторным работам по курсу «Строительные материалы»

Составитель: Шелихов Николай Сергеевич

Редактор: Н.Х. Михайлова

Редакционно-издательский отдел  
Казанской государственной архитектурно-строительной академии

Подписано в печать			Формат 60x84/16
Заказ	Тираж	Печать офсетная	Усл.-печ. л.
		Бумага тип № 1	Уч.-изд. л.

---

Печатно-множительный отдел КазГАСУ

420043, Казань, Зеленая 1.