



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Строительные материалы»

## **Методические указания**

к лабораторной работе по учебным дисциплинам  
«Строительные материалы», «Дорожное  
материаловедение и технология дорожно-  
строительных материалов»,  
«Материаловедение», «Архитектурно-  
реставрационное материаловедение»,  
«Архитектурное материаловедение» для  
обучающихся по всем направлениям подготовки

## **«ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА»**

Авторы  
Каклюгин А.В., Трищенко И.В.

Ростов-на-Дону, 2017

## Аннотация

Методические указания регламентируют содержание лабораторной работы и правила оформления ее результатов. Содержат основные принципы расчета и подбора состава тяжелого цементного бетона, а также методики определения основных свойств бетонной смеси и бетона.

Предназначены для обучающихся по очной и заочной форме по всем направлениям подготовки при изучении дисциплин «Строительные материалы», «Дорожное материаловедение и технология дорожно-строительных материалов», «Материаловедение», «Архитектурно-реставрационное материаловедение», «Архитектурное материаловедение».

## Авторы

к.т.н., доцент кафедры  
«Строительные материалы»  
Каклюгин А.В.

к.т.н., доцент кафедры  
«Строительные материалы»  
Трищенко И.В.



## Оглавление

<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА .....</b>	<b>4</b>
1 Общие сведения .....	4
2 Правила установления прочности для расчета состава бетона.....	5
3 Удобоукладываемость бетонной смеси и методы ее определения .....	7
4 Форма задания на проектирование.....	12
5 Форма характеристики исходных материалов .....	13
6 Ограничения, связанные с качеством применяемых материалов .....	13
7 Основные положения подбора состава тяжелого бетона методом абсолютных объемов .....	14
8 Определение начального состава бетона .....	15
9 Установление расхода материалов на пробные замесы .....	21
10 Корректирование составов пробных замесов и изготовление образцов .....	23
11 Перерасчет начального и дополнительных составов бетона с учетом фактической плотности бетонной смеси .....	26
12 Испытание контрольных образцов .....	27
13 Прогнозирование прочности бетона в возрасте 28 сут .....	31
14 Определение номинального состава бетона .....	31
15 Корректирование номинального состава бетона с учетом влажности заполнителей.....	33
16 Выражение рабочего состава бетона по массе.....	34
17 Выражение рабочего состава бетона по объему .....	35
18 Расчет дозировки материалов на замес в бетоносмесителе.....	35
19 Форма заключения по работе .....	36
20 Контрольные вопросы.....	37
<b>Библиографический список .....</b>	<b>39</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Нормативно-технические документы на основные материалы, правила и методы их испытаний ..</b>	<b>40</b>

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

### 1 Общие сведения

**Бетон** – это искусственный камневидный строительный материал, который получают в результате затвердевания тщательно перемешанной смеси из вяжущего вещества, воды, мелкого и крупного заполнителей и различных добавок. До затвердевания эту смесь называют **бетонной смесью**.

**Тяжелый бетон** приготавливают на цементных вяжущих, крупных и мелких заполнителях из плотных горных пород или шлаков. Для тяжелого бетона установлены марки по средней плотности более D2000 до D2500. Этот вид бетона наиболее широко используют для изготовления несущих конструкций зданий и сооружений.

**Состав бетона** – это рациональное соотношение между его компонентами, обеспечивающее получение материала с требуемыми показателями качества при минимуме материальных и энергетических затрат. Исходные данные для определения состава бетона обычно содержатся в нормативном или технологическом документе, в соответствии с которым изготавливают конструкцию или бетонную смесь. Задание на проектирование состава тяжелого бетона содержит, по меньшей мере, два требования – получить бетон требуемого класса по прочности, а бетонную смесь необходимой марки по удобоукладываемости. В ряде случаев, обусловленных специфическими условиями эксплуатации конструкций, главными могут стать требования по морозостойкости, водонепроницаемости, истираемости или коррозионной стойкости бетона. Правильное определение состава – одна из важнейших задач в технологии бетона, решаемая в соответствии с ГОСТ 27006. Этот стандарт разрешает применять любые методики, пособия и рекомендации, обеспечивающие достижение необходимого результата. Однако наиболее часто подбор состава бетона производят **расчетно-экспериментальным методом абсолютных объемов**, предложенным известным российским ученым Б.Г. Скрамтаевым, в следующей последовательности:

– испытание исходных материалов и установление их пригодности для применения в бетоне требуемого качества (вы-

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

полнено в предшествующих лабораторных работах и отражено в соответствующих таблицах);

- предварительный расчет расхода материалов на пробные замесы;
- корректирование составов пробных замесов;
- определение расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси.

**Оборудование и инструменты**, необходимые для выполнения лабораторной работы: весы циферблатные с пределом взвешивания до 10 кг и комплект гирь; металлические поддоны для перемешивания бетонной смеси; кельмы, шпатели, металлические линейки; наборы мерной металлической и стеклянной посуды; конус для определения подвижности бетонной смеси; прибор для определения жесткости бетонной смеси и секундомер; лабораторная виброплощадка; формы для изготовления бетонных образцов; камеры из оцинкованного железа для их влажного хранения; гидравлический пресс.

## 2 Правила установления прочности для расчета состава бетона

2.1 В проектной документации, как правило, указывают *класс бетона*, т.е. значение *нормируемой прочности*  $V_{норм}$ , МПа, которую бетон должен иметь в *проектном возрасте* (обычно в возрасте 28 сут).

**Класс бетона по прочности** – это нормируемое значение унифицированного ряда показателя качества бетона по прочности, принимаемое с *гарантированной обеспеченностью* (обычно 0,95). Это значит, что установленная классом прочность обеспечивается не менее чем в 95 случаях из 100.

В ГОСТ 26633 для тяжелых и мелкозернистых бетонов установлены классы по прочности на *сжатие*, *осевое растяжение* и *растяжение при изгибе*. Для обычных конструктивных бетонов важнейшим показателем качества является класс по прочности на сжатие: В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В22,5; В25; В27,5; В30; В35; В40; В45; В50; В55; В60; В70; В80; В90; В100, В110, В120.

2.2 С целью *гарантированного обеспечения* заданного значения  $V_{норм}$  в соответствии с ГОСТ 27006 состав бетона следует подбирать исходя из *среднего уровня его прочности*  $R_y$ , МПа, устанавливаемого лабораториями предприятий-изготовителей бетонной смеси на определенный *контролируемый период*

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

времени. Средний уровень прочности бетона всегда превышает его нормируемую прочность ( $R_y > B_{норм}$ ), а величина запаса прочности зависит от фактической *однородности бетона по прочности*, достигнутой за прошедший *анализируемый период* времени.

Однородность бетона по прочности устанавливают по методике ГОСТ 18105, вычислением *коэффициента вариации прочности бетона* для партий готовой к применению бетонной смеси или сборных и монолитных конструкций за анализируемый период.

Колебания прочности бетона в течение анализируемого периода обусловлены различными причинами:

- неучитываемыми колебаниями свойств портландцемента, а именно его активности, водопотребности (нормальной плотности), минералогического состава и т.п.;
- неточностью дозирования составляющих бетонной смеси;
- нарушением режима уплотнения бетонных смесей при формировании;
- колебаниями температуры и влажности среды твердения бетона;
- погрешностями, допущенными при испытании контрольных образцов.

Чем выше культура производства, тем выше однородность прочности бетона и, следовательно, ниже значения коэффициента вариации. При высокой технологической дисциплине средний уровень прочности бетона  $R_y$  понижается, что обеспечивает экономию цемента.

2.3 В настоящее время общепринятая методика определения среднего уровня прочности бетона отсутствует. Лаборатории предприятий-изготовителей бетонной смеси устанавливают  $R_y$  руководствуясь рекомендациями научно-исследовательских институтов или правилами, установленными в технологической документации на сборные бетонные и железобетонные изделия и монолитные конструкции.

При выполнении настоящей лабораторной работы средний уровень прочности бетона  $R_y$ , МПа, для расчета его состава устанавливают по формуле

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

$$R_y = 1,1 \cdot \frac{B_{\text{норм}}}{1-t\nu}, \quad (1)$$

где  $B_{\text{норм}}$  – нормируемое классом значение прочности бетона, МПа;

$\nu$  – коэффициент вариации прочности бетона (среднеотраслевое значение  $\nu = 0,135$ );

$t$  – коэффициент, характеризующий принятую при проектировании обеспеченность класса бетона (для обеспеченности 0,95 коэффициент  $t = 1,64$ ).

### 3 Удобукладываемость бетонной смеси и методы ее определения

#### 3.1 Требования к удобукладываемости бетонной смеси

**Удобукладываемостью бетонной смеси** называют ее способность заполнять форму, образуя в результате уплотнения плотную, однородную массу.

В зависимости от показателя удобукладываемости бетонные смеси, в соответствии с требованиями ГОСТ 7473, подразделяют на группы: жесткие (Ж), подвижные (П), растекающиеся (Р). В настоящее время для возведения монолитных и изготовления сборных бетонных и железобетонных конструкций наиболее широко применяют подвижные и жесткие бетонные смеси, поэтому в данной лабораторной работе рассматривается методика определения состава именно этих смесей.

Подвижные бетонные смеси подразделяют на марки по осадке конуса (таблица 1), а жесткие – по показателю жесткости (таблица 2).

Таблица 1 – Марки по осадке конуса

Марка	Осадка конуса, см
П1	1 – 4
П2	5 – 9
П3	10 – 15
П4	16 – 20
П5	Более 20

Проектирование состава тяжелого цементного бетона

Таблица 2 – Марки по жесткости

Марка	Жесткость, с
Ж1	5 – 10
Ж2	11 – 20
Ж3	21 – 30
Ж4	31 – 50
Ж5	Более 50

Рекомендуемые марки бетонной смеси по удобоукладываемости для изготовления некоторых видов сборных и монолитных конструкций приведены в таблице 3.

Проектирование состава тяжелого цементного бетона

Таблица 3 – Рекомендуемые марки бетонной смеси по удобоукладываемости

Вид конструкций		Марка по удобоукладываемости
Сборные	Железобетонные с немедленной распалубкой, формуемые на виброплощадках или с вибронасадком	Ж2, Ж3, Ж4
	Перекрытия с пустотами, стеновые панели, формуемые в горизонтальном положении на виброплощадках	Ж1
	Колонны, ригели, плиты, трубы и пр.: <ul style="list-style-type: none"> <li>– изготовляемые с применением наружного или внутреннего вибрирования</li> <li>– формуемые на ударно-вибрационных установках</li> <li>– формуемые в кассетах</li> <li>– центрифугированные</li> <li>– гидропрессованные</li> </ul>	П1, П2 Ж3 Ж1, П1, П2, П3 П1, П2 Ж1
Монолитные	Подготовка под фундаменты и полы, основания дорог и аэродромов	Ж1, П1
	Полы, покрытия дорог и аэродромов, массивные бетонные или малоармированные конструкции	П1
	Массивные армированные конструкции, плиты, балки	П1, П2
	Колонны массивные	П2
	Сильноармированные конструкции: <ul style="list-style-type: none"> <li>– горизонтальные</li> <li>– вертикальные</li> </ul>	П2, П3 П4, П5
	Конструкции, бетонируемые в скользящей опалубке	П2, П3
	При подаче бетонной смеси по бетоноводам с применением бетононасосов или пневмо-нагнетателей	П3, П4, П5

Показатели удобоукладываемости бетонной смеси по осадке конуса и жесткости оценивают по методикам ГОСТ 10181, приведенным в 3.2 и 3.3.

### 3.2 Определение подвижности бетонной смеси по осадке конуса

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

Для определения подвижности бетонной смеси с зернами заполнителя наибольшей крупностью до 40 мм включительно используют прибор, представляющий собой усеченный конус, изготовленный из тонкой листовой стали.

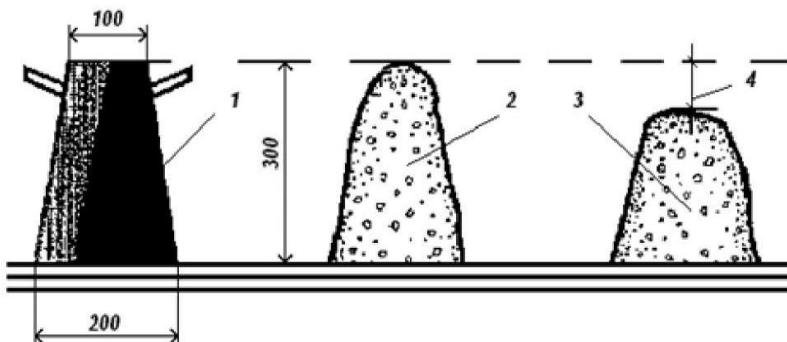
Перед испытаниями поверхности конуса и приспособлений, соприкасающиеся с бетонной смесью, очищают и протирают влажной тканью.

Конус устанавливают на гладкий металлический лист и через воронку заполняют его бетонной смесью марок по удобоукладываемости:

- П1-П3 – в три слоя одинаковой высоты, уплотняя каждый слой штыкованием металлическим стержнем 25 раз.
- П4 и П5 – в один прием, уплотняя штыкованием 10 раз.

Конус во время заполнения и штыкования должен быть плотно прижат к листу. После уплотнения бетонной смеси воронку снимают и избыток смеси срезают кельмой вровень с верхними краями конуса. Конус плавно снимают с отформованной бетонной смеси в строго вертикальном направлении и устанавливают рядом с нею. Время от начала заполнения конуса до его снятия не должно превышать 3 мин, а время, затраченное на подъем конуса, должно составлять 5-7 с.

**Осадку конуса** бетонной смеси определяют, укладывая гладкий стержень на верх формы и измеряя расстояние от нижней поверхности стержня до верха осевшей бетонной смеси (рисунок 1).



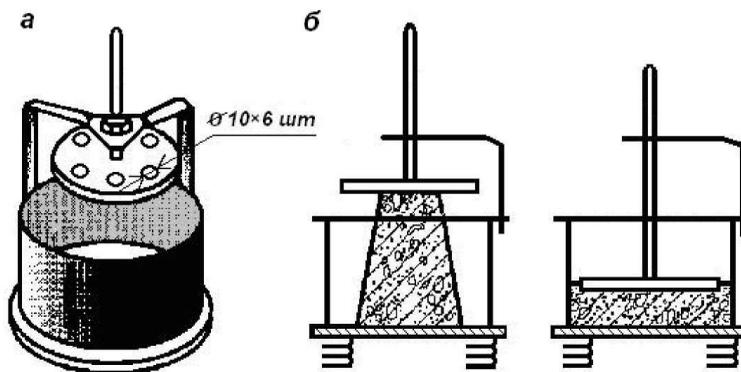
- 1 – металлический конус; 2 – жесткая смесь;  
3 – подвижная смесь; 4 – осадка конуса

**Рисунок 1 – Определение подвижности бетонной смеси**

Осадку конуса одной пробы бетонной смеси определяют дважды и вычисляют среднее арифметическое полученных результатов с точностью до 1,0 см. Общее время испытания не должно превышать 10 мин.

### 3.3 Определение жесткости бетонной смеси

**Жесткость** бетонной смеси характеризуется временем вибрации (в секундах), необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси в приборе для определения жесткости (рисунок 2).



*а* – прибор для определения жесткости; *б* – схема испытаний

## Рисунок 2 – Определение жесткости бетонной смеси

Перед испытанием прибор и приспособления тщательно очищают и все поверхности, соприкасающиеся с бетонной смесью, протирают влажной тканью. Прибор устанавливают и жестко фиксируют на виброплощадке, имеющей стандартные характеристики: частоту вертикально направленных колебаний ( $2900 \pm 100$ ) в мин и амплитуду ( $0,5 \pm 0,05$ ) мм. В цилиндрическое кольцо прибора вставляют и закрепляют специальными ручками конус. Заполнение конуса бетонной смесью, уплотнение смеси и снятие с отформованной смеси конуса осуществляют в соответствии с 3.2, как для смесей марок П1-П3.

После этого стальную форму конуса снимают и, поворачивая штатив, плавно опускают стальной диск с шестью отверстиями на поверхность отформованного конуса из бетонной смеси. Общая масса диска, штанги и шайбы установки должна составлять ( $2750 \pm 50$ ) г.

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 виброплощадку. Полученное время (в секундах) характеризует жесткость бетонной смеси.

Жесткость бетонной смеси вычисляют с округлением до 1 с как среднее арифметическое результатов двух определений жесткости из одной пробы смеси.

## 4 Форма задания на проектирование

4.1 Требуется подобрать состав тяжелого бетона класса \_\_\_\_\_, предназначенного для изготовления \_\_\_\_\_; среда эксплуатации конструкции по ГОСТ 31384 \_\_\_\_\_; условия твердения бетона \_\_\_\_\_.

4.2 Марка бетонной смеси по удобоукладываемости \_\_\_\_\_; конкретное значение показателя удобоукладываемости \_\_\_\_\_; способ уплотнения бетонной смеси \_\_\_\_\_.

## 5 Форма характеристики исходных материалов

### 5.1 Цемент по ГОСТ 10178:

- вид цемента \_\_\_\_\_ ;
- активность цемента \_\_\_\_\_ МПа;
- истинная плотность цемента  $\rho_{\text{иц}} =$  \_\_\_\_\_ кг/л;
- насыпная плотность цемента  $\rho_{\text{нц}} =$  \_\_\_\_\_ кг/л.

### 5.2 Крупный заполнитель по ГОСТ 8267:

- вид крупного заполнителя \_\_\_\_\_ ;
- гранулометрический состав \_\_\_\_\_ ;
- наибольшая крупность  $D_{\text{max}} =$  \_\_\_\_\_ мм;
- плотность зерен крупного заполнителя  $\rho_{\text{зк}} =$  \_\_\_\_\_ кг/л;
- насыпная плотность крупного заполнителя  $\rho_{\text{нк}} =$  \_\_\_\_\_

кг/л;

- объем межзерновых пустот (пустотность)  $V_{\text{к}} =$  \_\_\_\_\_ .

### 5.3 Мелкий заполнитель по ГОСТ 8736:

- вид мелкого заполнителя \_\_\_\_\_ ;
- группа по крупности \_\_\_\_\_ ;
- истинная плотность песка  $\rho_{\text{ип}} =$  \_\_\_\_\_ кг/л;
- насыпная плотность песка  $\rho_{\text{нп}} =$  \_\_\_\_\_ кг/л;
- объем межзерновых пустот песка (пустотность)  $V_{\text{л}} =$  \_\_\_\_\_ .

### 5.4 Вода по ГОСТ 23732: \_\_\_\_\_ .

## 6 Ограничения, связанные с качеством применяемых материалов

6.1 **Вид цемента** следует выбирать в соответствии с назначением конструкций и изделий, условиями их эксплуатации по ГОСТ 31384, требуемых марок бетона по морозостойкости и водонепроницаемости, декоративных свойств на основании требований нормативно-технических документов на эти конструкции и изделия.

6.2 **Активность (марка) цемента**, как правило, должна быть выше среднего уровня прочности бетона  $R_{\text{в}}$ , МПа. Несоблюдение этой рекомендации связано с увеличением расхода цемента и, следовательно, с неизбежными экономическими потерями. Повышенное содержание цементного камня в бетоне, кроме этого, может привести к снижению его долговечности.

Марку цемента для тяжелого бетона, твердеющего в естественных условиях, рекомендуется выбирать в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4 – Рекомендуемые и допускаемые марки цемента

Класс бетона	B7,5	B10; B12,5	B15; B20	B22,5; B25	B30	B35; B40	B45
Марка цемента:							
– рекомендуемая	300	300	400	400	500	500	550
– допускаемая	-	400	300; 500	500	400; 550	550	-

6.3 **Наибольшая крупность заполнителя  $D_{max}$** , для удобной укладки бетонной смеси в форму или опалубку, не должна превышать:

- 0,25 минимального размера сечения формируемой конструкции;
- 0,75 минимального расстояния между стержнями арматуры.

6.4 **Химические добавки** по ГОСТ 24211 широко применяют в технологии бетона с целью направленного регулирования и улучшения свойств бетонной смеси и затвердевшего бетона, снижения расхода цемента и энергетических затрат.

Оптимальные дозировки добавок, а также их совместимость с компонентами бетона и между собой устанавливают при подборе состава бетона. При этом руководствуются рекомендациями предприятий-производителей химических добавок. Общее количество химических добавок не должно превышать максимальных дозировок, указанных производителем, и должно быть не более 5 % массы цемента.

## 7 Основные положения подбора состава тяжелого бетона методом абсолютных объемов

7.1 Объем плотноуложенной бетонной смеси, принимаемый в расчете равным 1 м<sup>3</sup>, или 1000 л, складывается из объемов зерен мелкого и крупного заполнителей и цементного теста, заполняющего пустоты между зёрнами заполнителей (небольшой объем воздушных пор, содержащийся в уплотненной бетонной смеси (~2 %), условно во внимание не принимается).

Это условие выражается **уравнением абсолютных объемов**

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + В + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{К}{\rho_{зк}} = 1 \text{ м}^3 (1000 \text{ л}), \quad (2)$$

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

где  $C, П, K, B$  – расходы соответственно цемента, песка, крупного заполнителя (щебня или гравия) и воды на  $1 \text{ м}^3$  уплотненной бетонной смеси, кг;

$\rho_{\text{иц}}, \rho_{\text{ип}}$  – истинные плотности цемента и песка,  $\text{кг/м}^3$  ( $\text{кг/л}$ );

$\rho_{\text{зк}}$  – плотность зерен крупного заполнителя,  $\text{кг/м}^3$  ( $\text{кг/л}$ ).

7.2 Межзерновые пустоты в крупном заполнителе должны быть заполнены цементно-песчаным раствором с учетом некоторой **раздвижки зерен**. Это положение выражается уравнением

$$\frac{C}{\rho_{\text{иц}}} + B + \frac{П}{\rho_{\text{ип}}} = \frac{K}{\rho_{\text{нк}}} V_{\text{к}} \alpha, \quad (3)$$

где  $\rho_{\text{нк}}$  – насыпная плотность крупного заполнителя,  $\text{кг/м}^3$  ( $\text{кг/л}$ );

$V_{\text{к}}$  – пустотность крупного заполнителя (в долях единицы);

$\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен заполнителя (коэффициент избытка раствора).

## 8 Определение начального состава бетона

### 8.1 Установление расхода воды на $1 \text{ м}^3$ бетона

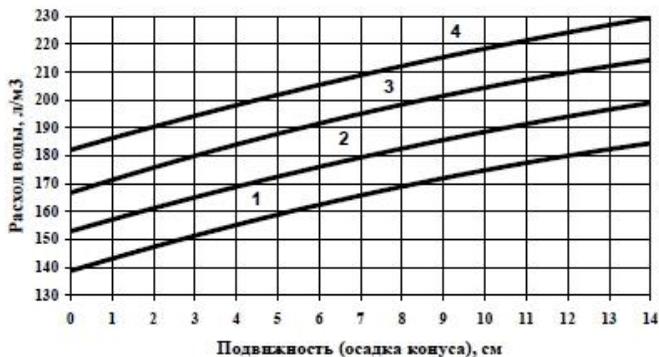
Расход воды  $B$ , л, на  $1 \text{ м}^3$  уплотненной бетонной смеси определяют по графику, представленному на рисунке 3 в соответствии с заданным конкретным значением показателя удобоукладываемости бетонной смеси с учетом указаний, приведенных в примечаниях к этому графику.

### 8.2 Расчет значения цементно-водного отношения

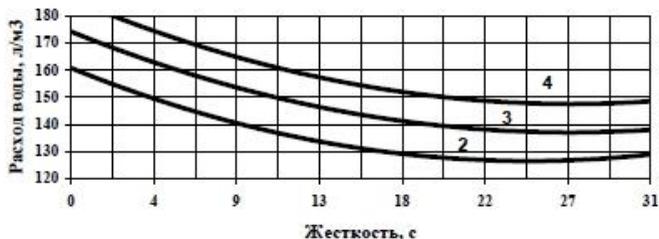
Для большинства тяжелых бетонов, важнейшим показателем качества которых является класс по прочности на сжатие, расчет значения цементно-водного отношения  $C/B$  производят, используя основной закон прочности бетона, предложенный швейцарским ученым И. Болومه и усовершенствованный Б.Г. Скрамтаевым:

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

а



б



1 – наибольшая крупность гравия 80 мм; 2 – то же, 40 мм;  
3 – то же, 20 мм; 4 – то же, 10 мм;

а – подвижные смеси; б – жесткие смеси

### Рисунок 3 – Водопотребность (В) бетонной смеси, приготовленной с применением портландцемента, песка средней крупности и гравия

Примечания:

1 При использовании щебня вместо гравия расход воды увеличивают на 10 л;

2 При применении шлакопортландцемента (ШПЦ) и пуццоланового портландцемента (ППЦ) расход воды увеличивают соответственно на 10 и 20 л;

3 При использовании мелкого и очень мелкого песка расход воды увеличивают соответственно на 10 и 20 л, при применении крупного песка – уменьшают на 10 л;

4 При расходе цемента свыше 450 кг/м<sup>3</sup> расход воды увеличивают на 10-15 л;

5 При применении добавок ПАВ расход воды уменьшают для:

– суперводоредуцирующих – на 20 % и более;

– водоредуцирующих – на 7-20 %.

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

– для бетонов средней прочности с  $C/B = 1,4-2,5$  ( $B/C \geq 0,4$ ):

$$R_y = AR_c \left( \frac{C}{B} - 0,5 \right); \quad (4)$$

$$\frac{C}{B} = \frac{R_y}{AR_c} + 0,5; \quad (5)$$

– для высокопрочных бетонов с  $C/B = 2,5-3,3$  ( $B/C < 0,4$ ):

$$R_y = A_1 R_c \left( \frac{C}{B} + 0,5 \right); \quad (6)$$

$$\frac{C}{B} = \frac{R_y}{A_1 R_c} - 0,5, \quad (7)$$

где  $R_y$  – средний уровень прочности бетона при сжатии, устанавливаемый по формуле (1), МПа;  
 $R_c$  – активность цемента, МПа;  
 $C, B$  – расходы соответственно цемента и воды на 1 м<sup>3</sup> бетона, кг;  
 $A$  и  $A_1$  – коэффициенты, учитывающие влияние на прочность бетона качества заполнителей и других факторов, принимаемые по таблице 5.

Таблица 5 – Коэффициенты А и А<sub>1</sub>

Качество материалов для бетона	А	А <sub>1</sub>
<b>Высококачественные</b> – чистые (промытые) фракционированные заполнители из плотных и прочных горных пород, портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки	0,65	0,43
<b>Рядовые</b> – заполнители среднего качества, отвечающие требованиям нормативных документов, в том числе гравий, портландцемент средней активности или высокомарочный шлакопортландцемент	0,60	0,40
<b>Пониженного качества</b> – щебень и гравий низкой прочности или неудовлетворительного зернового состава, мелкие пески (модуль крупности М <sub>к</sub> менее 2,0), а также заполнители содержащие вредные примеси в количестве близком к максимально допустимому, цементы низкой активности	0,55	0,37

Формулу (5) для расчета  $C/V$ -отношения используют, если  $R_y < 2AR_c$ , в других случаях применяют формулу (7).

С целью уточнения фактического значения коэффициента А или А<sub>1</sub>, в дальнейших расчетах значение цементно-водного отношения варьируют, рассчитывая кроме начального два дополнительных состава бетона. Для этого студентов, выполняющих лабораторную работу, разделяют на три бригады. Студенты из первой бригады используют рассчитанное значение цементно-водного отношения, из второй – увеличивают его на 15-30 %, из третьей – уменьшают на 15-30 %.

При этом подвижность (жесткость) всех трех пробных составов бетонной смеси должна быть равна заданной.

### 8.3 Определение расхода цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона

Расход цемента  $C$ , кг, на 1 м<sup>3</sup> уплотненной бетонной смеси рассчитывают по формуле

$$C = B \cdot \frac{C}{V} \quad (8)$$

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

Минимальный расход цемента в бетонах, эксплуатируемых в неагрессивных средах в зависимости от вида конструкций и условий их эксплуатации должен соответствовать приведенному в таблице 6.

Если расход цемента окажется меньше допустимого, то его следует увеличить, сохранив расчетное значение  $C/B$ . При этом уточняют и расход воды с учетом увеличенного расхода цемента.

Таблица 6 – Минимальный расход цемента

Вид конструкции	Условия эксплуатации по ГОСТ 31384	Вид и расход цемента кг/м <sup>3</sup>		
		ПЦ-Д0, ПЦ-Д5, ССПЦ-Д0	ПЦ-Д20, ССПЦ-Д20	ШПЦ, ССПЦ, ССПЦ-Д0
Неармированные	ХО	Не нормируют		
	ХС4	150	170	170
Армируемые с ненапрягаемой арматурой	ХО	150	170	180
	ХС4	200	220	240
Армируемые с напрягаемой арматурой	ХО	220	240	270
	ХС4	240	270	300

Примечание:  
 ХО – для бетона конструкций, эксплуатируемых внутри сухих помещений;  
 ХС4 – для бетона конструкций, поверхность которых имеет периодический контакт с водой.

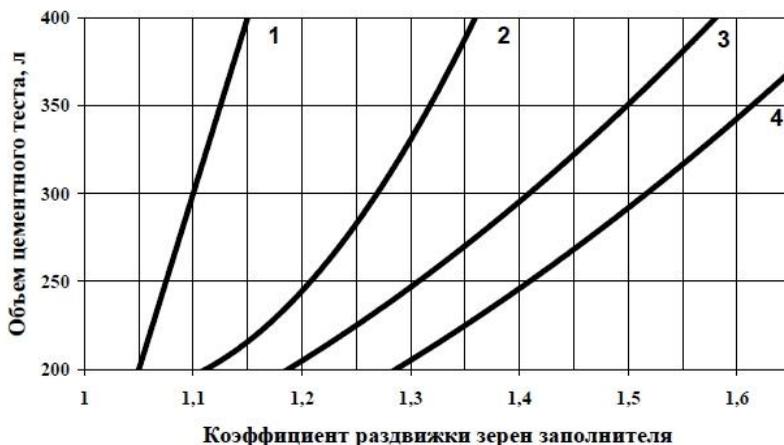
#### 8.4 Установление коэффициента раздвижки зерен заполнителя

Значение коэффициента раздвижки зерен заполнителя  $\alpha$  устанавливают по графику, представленному на рисунке 4, в зависимости от абсолютного объема цементного теста  $V_{цт}$ .

Абсолютный объем цементного теста  $V_{цт}$ , л, рассчитывают по формуле

$$V_{цт} = B + \frac{C}{\rho_{иц}}. \quad (9)$$

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона



1 – для жестких смесей; 2 – для подвижных смесей на мелком песке; 3 – то же, на среднем песке; 4 – то же, на крупном песке

**Рисунок 4 – Зависимость коэффициента раздвижки зерен заполнителя ( $\alpha$ ) от объема цементного теста ( $V_{цт}$ )**

### 8.5 Определение расхода крупного заполнителя на 1 м<sup>3</sup> бетона

Расход крупного заполнителя  $K$ , кг, на 1 м<sup>3</sup> уплотненной бетонной смеси рассчитывают по формуле

$$K = \frac{1000}{\frac{V_K \cdot \alpha}{\rho_{нк}} + \frac{1}{\rho_{зк}}} \quad (10)$$

### 8.6 Установление расхода песка на 1 м<sup>3</sup> бетона

Расход песка  $\Pi$ , кг, на 1 м<sup>3</sup> бетона вычисляют по формуле

$$\Pi = \left[ 1000 - \left( \frac{\Pi}{\rho_{иц}} + B + \frac{K}{\rho_{зк}} \right) \right] \cdot \rho_{ип} \quad (11)$$

### 8.7 Определение расчетной плотности бетонной смеси

Расчетную плотность бетонной смеси  $\rho_{см}^{расч}$ , кг/м<sup>3</sup>, определяют по формуле

$$\rho_{см}^{расч} = \frac{Ц+В+К+П}{1} \quad (12)$$

Рассчитанные начальный и дополнительные составы бетона, соответствующие им значения расчетной плотности бетонной смеси и соотношения по массе между песком и крупным заполнителем  $\omega$  заносят в таблицу 7.

### 9 Установление расхода материалов на пробные замесы

Расход материалов на приготовление пробных (лабораторных) замесов (цемента  $Ц_{зам}$ , воды  $В_{зам}$ , крупного заполнителя  $К_{зам}$ , и песка  $П_{зам}$ ), кг, устанавливают по формулам

$$Ц_{зам} = \frac{Ц}{1000} V_{зам}; \quad (13)$$

$$В_{зам} = \frac{В}{1000} V_{зам}; \quad (14)$$

$$К_{зам} = \frac{К}{1000} V_{зам}; \quad (15)$$

$$П_{зам} = \frac{П}{1000} V_{зам}, \quad (16)$$

где  $V_{зам}$  – объем пробного замеса (рекомендуется принять  $V_{зам} = 7$  л).

Рассчитанные расходы материалов на пробные (лабораторные) замесы заносят в таблицу 8.

Таблица 7 – Начальный и дополнительные составы бетона

Номер замеса	Цементно-водное отношение	Коэффициент раздвижки зерен заполнителя	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси, кг				Расчетная плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	Соотношение между мелким и крупным заполнителем
			Цемент	Вода	Щебень (гравий)	Песок		
1								
2								
3								

Таблица 8 – Результаты подбора состава бетона

Номер замеса	Расход материалов на приготовление лабораторного замеса объемом 7 л, кг				Добавлено материалов, кг				Фактические показатели бетонной смеси	
	Цемент	Вода	Щебень (гравий)	Песок	Цемент	Вода	Щебень (гравий)	Песок	Удобоукладываемость ОК, см (Ж, с)	Плотность, кг/л
1										
2										
3										

Таблица 9 – Результаты перерасчета состава бетона с учетом фактической плотности бетонной смеси

Номер замеса	Фактический расход материалов на приготовление лабораторного замеса, кг				Общая масса замеса, кг	Объем замеса, л	Фактический расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг			
	Цемент	Вода	Щебень (гравий)	Песок			Цемент	Вода	Щебень (гравий)	Песок
1										
2										
3										

## 10 Корректирование составов пробных замесов и изготовление образцов

### 10.1 Приготовление бетонной смеси

Приготовление бетонной смеси производят перемешиванием компонентов вручную в металлическом поддоне, предварительно протертом влажной тканью. Компоненты дозируют по массе с погрешностью взвешивания  $\pm 1\%$ . Сначала на поддон высыпают песок, затем цемент и перемешивают до получения смеси однородного цвета. Далее добавляют щебень или гравий и всю смесь вновь перемешивают до тех пор, пока крупный заполнитель не будет равномерно распределен в смеси.

Полученную смесь сухих компонентов собирают в кучу, в центре которой делают углубление. Примерно половину от общего количества воды выливают в углубление и осторожно перемешивают с материалами, затем выливают оставшуюся воду и продолжают энергично перемешивать до получения однородной бетонной смеси. Общая продолжительность перемешивания не должна превышать 10 мин.

### 10.2 Проверка удобоукладываемости бетонной смеси

По методикам, описанным в разделе 2, производят оценку подвижности или жесткости бетонной смеси.

Если бетонная смесь получилась менее подвижной (более жесткой), чем требуется, то увеличивают количество цемента и воды порциями по 5-10 % первоначального, сохраняя принятое в расчетах значение цементно-водного отношения. Если смесь имеет избыточную подвижность (недостаточную жесткость) по сравнению с требуемой, в замес добавляют песок и крупный заполнитель, сохраняя рассчитанное соотношение между ними. Таким путем добиваются достижения указанного в задании на проектирование конкретного значения показателя удобоукладываемости бетонной смеси.

Добавленное количество цемента и воды или песка и щебня, а также значение показателя удобоукладываемости бетонной смеси в пробном замесе записывают в таблицу 8.

### 10.3 Изготовление и хранение контрольных образцов

Из бетонной смеси каждого замеса по методике ГОСТ 10180 изготавливают контрольные образцы-кубы для определения средней плотности и прочности бетона. Размер ребра куба зависит от наибольшей крупности заполнителя и должен соответствовать значениям, указанным в таблице 10.

Таблица 10 – Размер ребра образцов-кубов

В миллиметрах

Наибольший номинальный размер зерна заполнителя	Наименьший размер ребра образца-куба
20 и менее	100
40	150
70	200
100	300

Образцы изготавливают сериями в жестких разборных металлических формах по ГОСТ 22685. Перед формованием внутреннюю поверхность форм смазывают тонким слоем машинного масла. Число образцов в серии устанавливают по методике ГОСТ 10180 в зависимости от среднего внутресирийного коэффициента вариации прочности бетона  $\bar{V}_S$ . При выполнении лабораторной работы количество образцов в серии можно принять равным трем.

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

Формы заполняют бетонной смесью и уплотняют ее одним из следующих способов:

- при изготовлении образцов из бетонной смеси марок по удобоукладываемости П1, П2, П3 и Ж1 – форму с уложенной и уплотненной штыкованием бетонной смесью жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и вибрируют до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси, выравниванием ее поверхности, появлением на ней тонкого слоя цементного теста;

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

– при изготовлении образцов из бетонных смесей марок по удобоукладываемости Ж2, Ж3, Ж4 и Ж5 – форму с уложенной и уплотненной штыкованием бетонной смесью жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке, на форме закрепляют насадку высотой, равной высоте формы, устанавливают на поверхность бетонной смеси пригруз, обеспечивающий давление  $(0,004 \pm 0,0005)$  МПа, и вибрируют до прекращения оседания пригруза и дополнительно 5-10 с.

При изготовлении образцов из бетонной смеси марок по удобоукладываемости П4 и П5 вибрацию для ее уплотнения не применяют.

После окончания укладки и уплотнения бетонной смеси в форме верхнюю поверхность образца заглаживают мастерком или пластиной. На образцы наносят маркировку, идентифицирующую принадлежность образца и дату его изготовления.

Формы с образцами накрывают влажной тканью и хранят в течение 1 сут в помещении при температуре  $(20 \pm 5)$  °С. На следующий день образцы вынимают из форм и до момента испытания помещают в камеру нормального твердения при температуре  $(20 \pm 2)$  °С с относительной влажностью воздуха  $(95 \pm 5)$  %. Образцы в камере укладывают на стеллажи в один ряд по высоте с промежутками между ними не менее 5 мм.

#### 10.4 Определение фактической средней плотности бетонной смеси

Среднюю плотность бетонной смеси, характеризующую отношение массы уплотненной бетонной смеси к ее объему, определяют с использованием металлического мерного сосуда, размер которого принимают в зависимости от наибольшей крупности зерен заполнителя по таблице 11.

Таблица 11 – Вместимость и размеры мерных сосудов

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Вместимость сосуда, см <sup>3</sup>	Внутренний размер сосуда, мм	
		диаметр	высота
< 20	1 000	108	108
40	5 000	185	185
> 80	10 000	234	234

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

Укладку и уплотнение бетонной смеси в мерном сосуде производят по методике, описанной в разделе 10.3, в зависимости от ее удобоукладываемости. После уплотнения избыток смеси срезают стальной линейкой, и поверхность тщательно выравнивают вровень с краями мерного сосуда.

Среднюю плотность бетонной смеси  $\rho_{см}^{\phi}$ , кг/л, вычисляют по формуле

$$\rho_{см}^{\phi} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (17)$$

где  $m_1$  – масса мерного сосуда до испытаний, кг;  
 $m$  – то же, с бетонной смесью после ее уплотнения, кг;  
 $V$  – объем мерного сосуда, л.

Результат вычислений заносят в таблицу 8. Разница между фактической и расчетной плотностью бетонной смеси не должна превышать 2 %.

## 11 Перерасчет начального и дополнительных составов бетона с учетом фактической плотности бетонной смеси

### 11.1 Определение фактических объемов пробных замесов

Фактический объем каждого пробного замеса  $V_{зам}^{\phi}$ , л, вычисляют по формуле

$$V_{зам}^{\phi} = \frac{\sum m_i}{\rho_{см}^{\phi}}, \quad (18)$$

где  $\sum m_i$  – общая масса пробного замеса, кг, определяемая как сумма масс всех материалов, израсходованных на его приготовление, с учетом массы добавленных компонентов, кг.

### 11.2 Расчет фактического расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона

Расходы материалов (цемента Ц<sup>φ</sup>, воды В<sup>φ</sup>, крупного заполнителя К<sup>φ</sup> и песка П<sup>φ</sup>), кг, на 1 м<sup>3</sup> бетона вычисляют по формулам

$$Ц^{\phi} = \frac{Ц_{зам}^{\phi} \cdot 1000}{V_{зам}^{\phi}}; \quad (19)$$

$$B^{\Phi} = \frac{B_{\text{зам}}^{\Phi} \cdot 1000}{V_{\text{зам}}^{\Phi}}; \quad (20)$$

$$K^{\Phi} = \frac{K_{\text{зам}}^{\Phi} \cdot 1000}{V_{\text{зам}}^{\Phi}}; \quad (21)$$

$$P^{\Phi} = \frac{P_{\text{зам}}^{\Phi} \cdot 1000}{V_{\text{зам}}^{\Phi}}. \quad (22)$$

Рассчитанные расходы материалов на 1 м<sup>3</sup> начального и дополнительных составов бетона заносят в таблицу 9.

## 12 Испытание контрольных образцов

### 12.1 Определение средней плотности бетона

Испытание образцов производят после достижения бетоном проектного возраста (обычно 28 сут).

Среднюю плотность бетона определяют после извлечения образцов из камеры влажного твердения. В помещении для испытания образцов следует поддерживать температуру воздуха (20 ± 5) °С и относительную влажность воздуха не менее 55 %. В этих условиях образцы должны быть выдержаны до испытания в течение 4 ч.

Перед испытаниями образцы осматривают и обнаруженные дефекты в виде наплывов удаляют напильником или шлифовальным кругом. Образцы измеряют металлической линейкой с погрешностью до 1 мм, а затем взвешивают на циферблатных весах. Длину, ширину и высоту каждого образца вычисляют как среднее арифметическое значение результатов измерения ребер и высоты в середине соответствующей грани куба. Результаты взвешиваний и измерений записывают в таблице 12.

Таблица 12 – Результаты испытаний контрольных образцов

Показатели	Номер замеса / номер образца								
	1			2			3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Возраст образцов $n$ , сут									
Размеры, мм (см):									
длина $a$									
ширина $b$									
высота $h$									
Площадь рабочего сечения образца $S$ , мм <sup>2</sup> (см <sup>2</sup> )									
Объем образца $V$ , см <sup>3</sup>									
Масса образца $m$ , г									
Средняя плотность образца $\rho_6$ , кг/м <sup>3</sup>									
Средняя плотность бетона $\bar{\rho}_6$ , кг/м <sup>3</sup>									
Разрушающая нагрузка $P$ , Н (кгс)									
Масштабный коэффициент $k$									
Прочность образца, приведенная к базовому размеру $R^{сж}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )									
Средняя прочность образцов в серии $\bar{R}_n^{сж}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )									
Прогнозируемое значение прочности бетона на сжатие в возрасте 28 сут $\bar{R}_{28}^{сж}$ , МПа (кгс/см <sup>2</sup> )									

Среднюю плотность образца  $\rho_6$ , кг/м<sup>3</sup>, вычисляют с точностью до 1 кг/м<sup>3</sup> по формуле

$$\rho_6 = \frac{1000m}{V}, \quad (23)$$

где  $m$  – масса образца, г;  
 $V$  – объем образца, см<sup>3</sup>.

По результатам определений средней плотности всех образцов серии вычисляют среднеарифметическое значение средней плотности бетона  $\bar{\rho}_6$ , кг/м<sup>3</sup>.

Результаты определения средней плотности бетона записывают в таблицу 12.

### 12.2 Определение предела прочности бетона при сжатии

Пределом прочности при сжатии называют максимальное значение механического напряжения, полученное при испытании бетонных образцов стандартной формы и размера осевой сжимающей нагрузкой.

При выполнении лабораторной работы предел прочности бетона при сжатии определяют на нескольких образцах-кубах, составляющих **серию образцов**. Различие в значениях средней плотности образцов в серии не должно превышать 50 кг/м<sup>3</sup>.

Размер образцов зависит от наибольшей крупности заполнителя, используемого для приготовления бетонной смеси. Куб с ребром 15 см является основным, или базовым образцом. Результаты определения предела прочности бетона на сжатие при использовании образцов других размеров приводят к прочности бетона в образцах базового размера, умножая фактическое среднее значение прочности образцов в серии на масштабный коэффициент  $k$ .

Схема испытаний образцов представлена на рисунке 5.

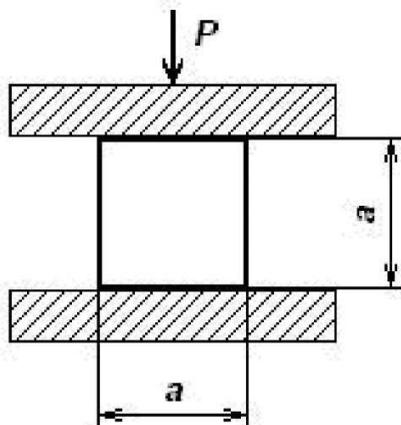


Рисунок 5 – Схемы испытаний бетонных образцов на сжатие

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

На образцах выбирают и отмечают мелом грани, которые будут прилегать к плитам гидравлического пресса в процессе нагружения. Опорные грани выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы при формовании образцов. Во время испытания образец устанавливают одной из опорных граней в центре нижней плиты пресса, используя нанесенные на ней риски. Затем включают электродвигатель гидравлического привода пресса.

Шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале от 20 % до 80 % максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой. Нагрузка на образец при испытании должна возрастать непрерывно с постоянной скоростью ( $0,6 \pm 0,2$ ) МПа/с до разрушения образца. При этом время нагружения одного образца должно быть не менее 30 с. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку.

Прочность на сжатие отдельного образца  $R^{сж}$ , МПа ( $\text{кгс/см}^2$ ), вычисляют с точностью до 0,1 МПа ( $1 \text{ кгс/см}^2$ ) по формуле

$$R^{сж} = k \frac{P}{S}, \quad (24)$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, Н ( $\text{кгс}$ );

$S$  – рабочая площадь сечения образца,  $\text{мм}^2$  ( $\text{см}^2$ );

$k$  – масштабный коэффициент для приведения результата испытаний к прочности бетона в образцах базового размера (для кубов с длиной ребра 100 мм  $k$  равен 0,95; 200 мм – 1,05; 250 мм – 1,08; 300 мм – 1,10).

Прочность бетона в серии образцов  $\bar{R}_{28}^{сж}$ , МПа ( $\text{кгс/см}^2$ ), определяют как среднеарифметическое значение прочности испытанных образцов в серии:

- из двух образцов – по двум образцам;
- из трех образцов – по двум образцам с наибольшей прочностью;
- из четырех образцов – по трем образцам с наибольшей прочностью;
- из шести образцов – по четырем образцам с наибольшей прочностью.

Результаты испытаний контрольных образцов заносят в таблицу 12.

### 13 Прогнозирование прочности бетона в возрасте 28 сут

Механические испытания бетонных образцов обычно проводят через 28 сут после формирования. Если при выполнении лабораторной работы испытания необходимо выполнить в другой срок, для прогнозирования прочности бетона в возрасте 28 сут допускается использовать формулу

$$\bar{R}_{28}^{\text{сж}} = \bar{R}_n^{\text{сж}} \frac{\lg 28}{\lg n}, \quad (25)$$

где  $\bar{R}_{28}^{\text{сж}}$  – предел прочности бетона в возрасте 28 сут, МПа (кгс/см<sup>2</sup>);

$\bar{R}_n^{\text{сж}}$  – то же, в возрасте  $n$  сут, МПа (кгс/см<sup>2</sup>).

В расчетах используют следующие справочные значения:  $\lg 28 = 1,4472$ ;  $\lg 14 = 1,1461$ ,  $\lg 7 = 0,8451$ . Результаты расчетов заносят в таблицу 12.

Формула (25) применима только для портландцемента средних марок без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки и дает удовлетворительные данные, начиная с  $n > 3$ .

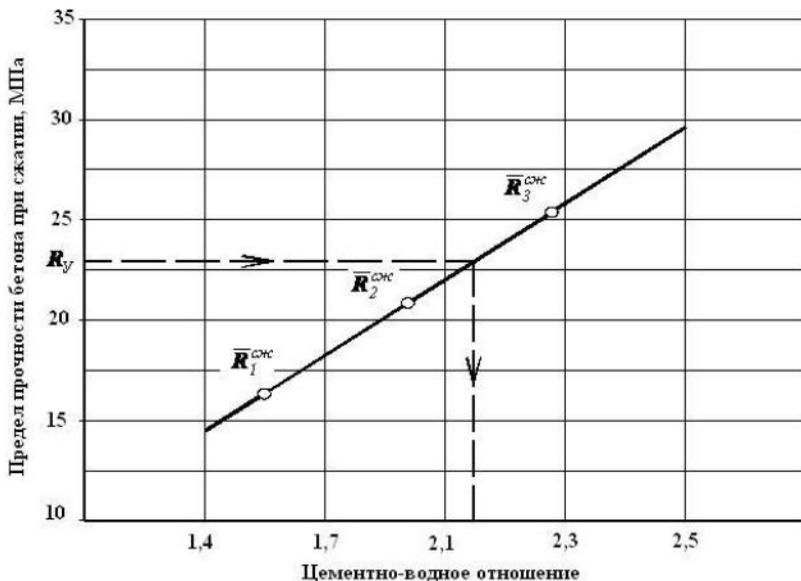
### 14 Определение номинального состава бетона

#### 14.1 Установление значения цементно-водного отношения

**Номинальным** называют состав бетона, обеспечивающий получение бетонной смеси и бетона требуемого качества при минимальном расходе вяжущего.

С целью определения значения цементно-водного отношения для номинального состава бетона, на рисунке б по результатам испытаний контрольных образцов строят графическую зависимость  $\bar{R}_{28}^{\text{сж}} = f(\text{Ц/В})$ .

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона



**Рисунок 6 – Зависимость прочности бетона при сжатии от величины цементно-водного отношения**

На графике откладывают три точки, абсциссы которых показывают цементно-водные отношения, принятые в начальном и дополнительных составах бетона, а ординаты – соответствующие им средние значения предела прочности при сжатии бетона в проектном возрасте.

Через отложенные точки проводят прямую линию, которая является графическим изображением искомой функции. В случае, если прямая не проходит через три точки и какая-нибудь из них по ординате отклоняется от возможного расположения на проводимой прямой с той же абсциссой более чем на 10 %, опыт должен быть повторен.

На графике находят искомое значение цементно-водного отношения  $C/B$ , обеспечивающее достижение установленного по формуле (1) среднего уровня прочности бетона  $R_y$ , МПа.

### 14.2 Определение расхода цемента

Зная расход воды  $B = const$ , л, на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси требуемой удобоукладываемости (см. таблицу 7) и установленное для номинального состава бетона значение цементно-водного отношения  $C/B$ , расход цемента  $C$  рассчитывают по формуле (8).

### 14.3 Определение расхода заполнителей

Расход крупного заполнителя  $K$ , кг, и песка  $L$ , кг, на  $1 \text{ м}^3$  бетона устанавливают по формулам соответственно (10) и (11) с учетом найденного в 14.2 содержания цемента  $C$  в номинальном составе бетона и уточненным значением коэффициента раздвижки зерен заполнителя.

### 14.4 Проверка удобоукладываемости бетонной смеси

Для полученного состава бетона проверяют удобоукладываемость бетонной смеси и устанавливают его соответствие всем другим нормируемым показателям качества (например, водонепроницаемости, морозостойкости и др.), если они указаны в задании на проектирование. Если подвижность (жесткость) бетонной смеси отличается от заданной, то корректировку состава смеси производят по методике описанной в 10.2.

Установленный расчетно-экспериментальным методом состав бетона называют **номинальным (лабораторным)**. Это связано с тем, что в лабораторных условиях песок и крупный заполнитель берут в так называемом стандартном состоянии, т.е. высушенными до постоянной массы и рыхло насыпанными в мерные сосуды (если материалы дозируют по объему).

## 15 Корректирование номинального состава бетона с учетом влажности заполнителей

В отличие от лабораторных условий при приготовлении бетонной смеси на строительной площадке или на предприятиях стройиндустрии песок и щебень (гравий) используют в состоянии естественной влажности и с той степенью уплотнения, которую они приобретают в процессе хранения на складах или при прохождении через бункера и дозирующие приспособления.

Не учет содержащейся в заполнителях влаги обуславливает увеличение водосодержания бетонной смеси и уменьшение рассчитанного цементно-водного отношения. В результате этого бетонная смесь приобретет большую подвижность (меньшую жест-

## Проектирование состава тяжелого цементного бетона

кость), а затвердевший бетон будет иметь меньшую прочность. Поэтому состав бетона перед передачей в производство корректируют с учетом влажности заполнителей, т.е. расходы заполнителей увеличивают, а воды – уменьшают.

Рабочие расходы материалов (крупного заполнителя  $K_p$ , песка  $\Pi_p$  и воды  $B_p$ ), кг, на 1 м<sup>3</sup> бетона с учетом влажности заполнителей устанавливают по формулам

$$K_p = K \cdot \left(1 + \frac{W_k}{100}\right); \quad (26)$$

$$\Pi_p = \Pi \cdot \left(1 + \frac{W_n}{100}\right); \quad (27)$$

$$B_p = B - K_p \cdot \frac{W_k}{100} - \Pi_p \cdot \frac{W_n}{100}, \quad (28)$$

где  $W_k, W_n$  – влажности соответственно крупного заполнителя и песка, %.

Состав бетона, в котором учтена влажность используемых заполнителей, называют **рабочим (производственным) составом бетона**.

## 16 Выражение рабочего состава бетона по массе

При передаче состава бетона из лаборатории на производство его принято выражать по массе. При этом обязательно указывают значение цементно-водного отношения (по массе) с учетом откорректированного расхода воды  $B_p$ .

Производственный (полевой) состав бетона по массе определяют путем деления расхода каждого компонента бетонной смеси на расход цемента

$$\frac{\text{Ц}}{\text{Ц}} : \frac{K_p}{\text{Ц}} : \frac{\Pi_p}{\text{Ц}} = 1 : \frac{K_p}{\text{Ц}} : \frac{\Pi_p}{\text{Ц}}. \quad (29)$$

## 17 Выражение рабочего состава бетона по объему

Выражение состава бетона по объему производят, так же, как и по массе, но при этом используют не массу, а объем, который занимают цемент, песок и крупный заполнитель в насыпном состоянии

$$\frac{V_{\text{ц}}}{V_{\text{ц}}} : \frac{V_{\text{к}}}{V_{\text{ц}}} : \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ц}}} = 1 : \frac{V_{\text{к}}}{V_{\text{ц}}} : \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ц}}}. \quad (30)$$

где  $V_{\text{ц}}$ ,  $V_{\text{к}}$  и  $V_{\text{п}}$ , – рабочие расходы соответственно цемента, крупного заполнителя и песка на 1 м<sup>3</sup> бетона по объему, л, рассчитываемые по формулам (31-33).

$$V_{\text{ц}} = \frac{\text{Ц}}{\rho'_{\text{нц}}}; \quad (31)$$

$$V_{\text{к}} = \frac{K_{\text{р}}}{\rho'_{\text{нк}}}; \quad (32)$$

$$V_{\text{п}} = \frac{\text{П}_{\text{р}}}{\rho'_{\text{нп}}}, \quad (33)$$

где  $\rho'_{\text{нк}}$  и  $\rho'_{\text{нп}}$  – насыпные плотности соответственно щебня (гравия) и песка в производственных условиях, т.е. с естественной влажностью и степенью уплотнения, которую заполнители приобретают при складировании или дозировании, кг/л.

Если значения  $\rho'_{\text{нк}}$  и  $\rho'_{\text{нп}}$  неизвестны, при выполнении лабораторной работы допускается использовать результаты определения насыпных плотностей заполнителей, полученные при стандартных испытаниях.

## 18 Расчет дозировки материалов на замес в бетоносмесителе

Дозировку составляющих бетонной смеси на один замес в бетоносмесителе (цемента  $\text{Ц}_{\text{в}}$ , воды  $V_{\text{в}}$ , крупного заполнителя  $K_{\text{в}}$  и песка  $\text{П}_{\text{в}}$ ), кг, рассчитывают по формулам

$$\text{Ц}_{\text{в}} = \text{Ц} \frac{V_{\text{Б}}}{1000}; \quad (34)$$

$$B_v = B_p \frac{V\beta}{1000}; \quad (35)$$

$$K_v = K_p \frac{V\beta}{1000}; \quad (36)$$

$$\Pi_v = \Pi_p \frac{V\beta}{1000}; \quad (37)$$

где  $V$  – объем барабана бетоносмесителя, л;  
 $\beta$  – коэффициент выхода бетонной смеси, рассчитываемый по формуле (38).

$$\beta = \frac{1000}{V_{ц} + V_{к} + V_{п}} \quad (38)$$

Произведение объема барабана бетоносмесителя на коэффициент выхода бетонной смеси ( $V\beta$ ) называют объемом замеса в бетоносмесителе.

По значению коэффициента выхода бетонной смеси  $\beta$  судят об экономичности состава бетона. Обычно значение  $\beta$  находится в пределах 0,55-0,75, и чем выше значение этого коэффициента, тем экономичнее состав бетона.

## 19 Форма заключения по работе

19.1 Средний уровень прочности бетона  $R_v$  \_\_\_\_\_ МПа для бетона класса В \_\_\_\_\_ обеспечивается при значении цементно-водного отношения  $C/W$  \_\_\_\_\_.

19.2 Номинальный состав тяжелого бетона характеризуется следующим расходом компонентов на 1 м<sup>3</sup>:

- портландцемента – \_\_\_\_\_ кг;
- крупного заполнителя – \_\_\_\_\_ кг;
- песка – \_\_\_\_\_ кг;
- воды – \_\_\_\_\_ л.

19.3 Рабочий состав бетона характеризуется следующим расходом компонентов на 1 м<sup>3</sup>:

- портландцемента – \_\_\_\_\_ кг;
- крупного заполнителя с влажностью  $W_k =$  \_\_\_\_\_ % – \_\_\_\_\_ кг;
- песка с влажностью  $W_n =$  \_\_\_\_\_ % – \_\_\_\_\_ кг;
- воды – \_\_\_\_\_ л.

## 20 Контрольные вопросы

1. Какими исходными данными необходимо располагать, чтобы приступить к проектированию состава тяжелого бетона?
2. Дайте определение удобоукладываемости бетонных смесей и приведите их классификацию в зависимости от этого свойства.
3. Опишите методику определения подвижности бетонной смеси.
4. Изложите методику определения жесткости бетонной смеси.
5. Дайте определение класса бетона по прочности.
6. На какую прочность следует производить расчет состава тяжелого бетона? Причины колебания прочности бетона на предприятиях стройиндустрии.
7. Объясните основные положения подбора состава бетона методом абсолютных объемов.
8. Как производят расчет цементно-водного отношения для начального состава бетона?
9. Изложите последовательность расчета состава бетона.
10. Опишите основные правила приготовления и корректирования состава пробных замесов бетонной смеси в лаборатории.
11. Как определяют фактическую плотность бетонной смеси?
12. Как устанавливают расход материалов на  $1 \text{ м}^3$  уплотненной бетонной смеси с учетом ее фактической плотности?
13. Опишите методику изготовления и хранения контрольных образцов, предназначенных для определения прочности бетона.
14. Изложите методику определения средней плотности бетона.
15. Опишите методику определения прочности бетона при сжатии.
16. От чего зависят размеры контрольных образцов и как учитывают влияние масштабного фактора при определении прочности бетона?
17. Каким образом прогнозируют прочность бетона в проектном возрасте, если испытания контрольных образцов проведены в другие сроки?

### Проектирование состава тяжелого цементного бетона

18. Что такое номинальный (лабораторный) состав бетона?
19. Какой состав бетона называют рабочим (производственным) и как его определяют?
20. Как и для чего состав бетона выражают по массе и по объему?
21. Приведите формулу для расчета коэффициента выхода бетонной смеси.
22. Как определяют расход сырьевых материалов на один замес в бетоносмесителе?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основная литература:

1. *Баженов Ю.М.* Технология бетона: учебник. – М.: АСВ, 2007.
2. *Белов В.В., Петропавловская В.Б., Шлапаков Ю.А.* Лабораторные определения свойств строительных материалов: учеб. пособие. – М.: АСВ, 2008.
3. *Каклюгин А.В., Трищенко И.В.* Лабораторный практикум по оценке свойств строительных материалов. Часть 2: учеб. пособ. / под общ. ред. А.Н. Юндина. – Ростов н/Д: Рост. гос. строит. ун-т, 2010.
4. *Несветаев Г.В.* Бетоны: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2011.
5. *Попов Л.Н., Попов Н.Л.* Строительные материалы и изделия: учебник. – М.: ОАО «ЦПП», 2008.

### Дополнительная литература:

1. *Горчаков Г.И., Баженов Ю.М.* Строительные материалы: учебник. – М.: Стройиздат, 1986.
2. *Домокеев А.Г.* Строительные материалы: учебник. – М.: Высшая школа, 1989.
3. *Кальгин А.А., Сулейменов Ф.Г.* Лабораторный практикум по технологии бетонных и железобетонных изделий. – М.: Высшая школа, 1994.
4. *Касторных Л.И.* Добавки в бетоны и строительные растворы: учебно-справ. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2008.
5. *Подуровский Н.И.* Технологическое обеспечение эффективности бето-на: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Рост. инж.-строит. ин-т, 1985.
6. Строительные материалы: учебно-справ. пособие / под ред. Г.В. Несветаева. – Ростов н/Д: Феникс, 2009.
7. *Ферронская А.В., Стамбулко В.И.* Лабораторный практикум по курсу «Технология бетонных и железобетонных изделий»: учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1988.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ**

# **НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ НА ОСНОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРАВИЛА И МЕТОДЫ ИХ ИСПЫТАНИЙ**

ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия.

ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний.

ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний.

ГОСТ 8736-93. Песок для строительных работ. Технические условия.

ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия.

ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.

ГОСТ 10181-2000. Смеси бетонные. Методы испытаний.

ГОСТ 12730.0-78. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости.

ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности.

ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и растворов. Технические условия.

ГОСТ 24211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия.

ГОСТ 26633-2012. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.

ГОСТ 27006-86. Бетоны. Правила подбора состава.

ГОСТ 31384-2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования.