



Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ  
КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ**

<b>Специальность</b>	<u>21.05.04 Горное дело</u>
<b>Направленность (профиль)</b>	<u>Подземная разработка рудных месторождений</u>
<b>Уровень высшего образования</b>	<u>Специалитет</u> <i>(бакалавриат, специалитет, магистратура)</i>

Автор - разработчик: Казак О. О., канд. техн. наук, доцент  
Рассмотрено на заседании кафедры разработки месторождений полезных ископаемых  
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

Задания и методические указания к выполнению контрольной работы составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «*Материаловедение*».

Контрольная работа является составной частью самостоятельной работы обучающихся дисциплине «*Материаловедение*». Выполнение контрольных работ имеет целью закрепление обучающимися полученных на лекциях теоретических знаний и практического опыта, приобретенного на практических занятиях, путем самостоятельной работы.

Контрольные работы по дисциплине «*Материаловедение*» выполняются студентами очной и заочной формы обучения после изучения материала по всему курсу.

### ***Контрольная работа № 1***

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА БЕТОНА НА ЗАДАННУЮ ПРОЧНОСТЬ И УДОБОУКЛАДЫВАЕМОСТЬ**

### ***Цель работы***

Подбор состава тяжелого (обычного) бетона заключается в установлении наиболее рационального соотношения между составляющими бетон компонентами (цементом, водой, песком, щебнем или гравием). Такое соотношение должно обеспечивать требуемую удобоукладываемость бетонной смеси для принятого способа ее уплотнения, а также приобретение бетоном заданной прочности в назначенный срок при наименьшем расходе цемента. Целью работы является изучение методики, получения и закрепления навыков расчета состава бетонной смеси для изготовления бетонов заданной марки и определенного вида конструкции.

### ***Методика расчета***

Состав бетона выражают расходом всех составляющих материалов по массе на 1 м<sup>3</sup> уложенной и уплотненной бетонной смеси или отношением массы составляющих материалов смеси к массе цемента, принимаемой за единицу, т. е.  $1 : x : y$  (цемент : песок : щебень или гравий) при  $В/Ц = z$ . Например, в первом случае состав бетона: цемента – 280, песка – 670, щебня – 1300, воды – 170 кг/м<sup>3</sup>; а во втором случае:  $1 : 2,4 : 4,7$  при  $В/Ц = 0,6$ .

### ***Порядок расчета состава бетона***

Для расчета состава тяжелого бетона необходимо иметь следующие данные:

- заданную марку бетона  $R_b$ ;
- требуемую удобоукладываемость бетонной смеси (*осадка конуса и подвижность*);
- характеристики исходных материалов: активность цемента  $R_c$ , наибольший диаметр зерен крупного заполнителя  $D_n$ , модуль крупности песка  $M_k$ , насыпную массу  $\gamma$  и истинную плотность  $\rho$  компонентов бетонной смеси.

Состав бетона на 1 м<sup>3</sup> рассчитывают в следующей последовательности.

#### ***1. Определение водоцементного отношения***

Водоцементное отношение  $В/Ц$  вычисляют исходя из требуемой марки бетона, активности цемента и с учётом вида и качества составляющих по следующим формулам:

а) для бетонов с водоцементным отношением  $В/Ц \geq 0,4$

$$\frac{В}{Ц} = \frac{А \cdot R_c}{R_b + 0,5A \cdot R_c}; \quad (3.8)$$

б) для бетонов с водоцементным отношением  $В/Ц \leq 0,4$

$$\frac{В}{Ц} = \frac{A_1 \cdot R_c}{R_b - 0,5A_1 \cdot R_c}; \quad (3.9)$$

где  $R_b$  – марка бетона, МПа;  $R_c$  – марка или активность цемента, МПа;  $A$  и  $A_1$  – коэффициенты, учитывающие качество материалов заполнителей, (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Значения коэффициентов  $A$  и  $A_1$

<i>Характеристика заполнителей</i>	<i>A</i>	<i>A<sub>1</sub></i>
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые (средние)	0,60	0,40
Пониженные	0,55	0,37

## 2. Определение расхода воды

Оптимальное количество воды  $B$  (л/м<sup>3</sup>) определяют по таблице 3.7 в зависимости от требуемой удобоукладываемости бетонной смеси, вида крупного заполнителя и наибольшего диаметра зерен крупного заполнителя.

Таблица 3.7

Ориентировочные расходы воды на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси

<i>Удобоукладываемость бетонной смеси</i>		<i>Наибольший диаметр зерен крупного заполнителя, мм</i>							
		<i>гравий</i>				<i>щебень</i>			
<i>осадка конуса, см</i>	<i>жесткость, с</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>40</i>	<i>70</i>	<i>10</i>	<i>20</i>	<i>40</i>	<i>70</i>
0	31 и более	150	135	125	120	160	150	135	130
0	21 ÷ 30	160	145	130	125	170	160	145	140
0	11 ÷ 20	165	150	135	130	175	165	150	145
0	5 ÷ 10	175	160	145	140	185	175	160	155
4 и менее	1 ÷ 4	190	175	160	155	200	190	175	170
5 ÷ 9	–	200	185	170	165	210	200	185	180
10 ÷ 15	–	215	205	190	180	225	215	200	190
16 и более	–	225	220	205	195	235	230	215	205

### Примечания:

1. Табличные данные применимы для бетонов с расходом цемента не выше 400 кг/м<sup>3</sup>.
2. При расходе цемента выше 400 кг/м<sup>3</sup> расход воды увеличивается на 10 л на каждые 100 кг цемента.
3. При применении пуццолановых портландцементов расход воды увеличивается на 15-20 л.
4. При применении мелкого песка расход воды увеличивается на 10 л.

Удобоукладываемость смеси, если она не задана, выбирается в зависимости от вида конструкций и способа их изготовления по таблице 3.8.

Таблица 3.8

Рекомендуемая удобоукладываемость бетонной смеси

<i>Вид конструкций, изделий и метод их изготовления</i>	<i>Осадка конуса, см</i>	<i>Жесткость, с</i>
<i>Монолитные конструкции</i>		
Подготовка под фундаменты и основания дорог	0-2	30 ÷ 60
Полы, покрытия дорог и аэродромов, массивные неармированные конструкции (фундаменты, подпорные стенки)	2 ÷ 3	25 ÷ 30
Массивные армированные конструкции. Плиты, балки, колонны бетонируемые на месте	2 ÷ 4	15 ÷ 25

Тонкостенные конструкции, сильно насыщенные арматурой	6 ÷ 8	6 ÷ 10
<i>Сборные конструкции</i>		
Изделия, формуемые с немедленной распалубкой	0	80 ÷ 100
Стеновые панели, формуемые в горизонтальном положении с вибропригрузом	0	60 ÷ 80
Изделия, формируемые вибропрокатом	0	50 ÷ 60
<i>Монолитная бетонная крепь подземных выработок</i>		
При ручной укладке	1 ÷ 3	15 ÷ 30
При спуске бетонной смеси по бетонопроводу	6 ÷ 10	5 ÷ 10
При применении пневмоукладчиков	8 ÷ 10	5 ÷ 8

### 3. Определение расхода цемента

Расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона определяют по водоцементному отношению и расходу воды согласно следующей формуле:

$$Ц = \frac{В}{(В/Ц)}. \quad (3.10)$$

Расход цемента уточняется в зависимости от крупности зерен крупного заполнителя и сопоставляется с данными таблицы 3.9. Если расчетное значение Ц меньше табличного Ц<sub>min</sub>, то принимается минимальный расход цемента Ц<sub>min</sub>, а количество воды, необходимое для затворения бетонной смеси, пересчитывается по формуле:

$$В = \frac{Ц}{(В/Ц)}. \quad (3.11)$$

Таблица 3.9

Минимальный расход цемента Ц<sub>min</sub> для получения нерасслаиваемой плотной бетонной смеси

Вид бетонной смеси	Наибольший диаметр зерен крупного заполнителя, мм			
	10	20	40	70
Особо жесткая (Ж > 20 с)	160	150	140	130
Жесткая (Ж = 10 ÷ 20 с)	180	160	150	140
Малоподвижная (Ж = 5 ÷ 10 с)	200	180	160	150
Подвижная (ОК = 5 ÷ 10 см)	220	200	180	160
Очень подвижная (ОК = 10 ÷ 16 см)	240	220	200	180
Литая (ОК > 16 см)	250	230	210	190

### 4. Определение расхода крупного и мелкого заполнителей

Расход заполнителей на 1 м<sup>3</sup> определяют по следующим формулам:

щебень

$$Щ = \frac{1}{\Pi_{щ} \cdot \frac{\alpha}{\gamma_{щ}} + \frac{1}{\rho_{щ}}}; \quad \Pi_{щ} = 1 - \frac{\gamma_{щ}}{\rho_{щ}}; \quad (3.12)$$

гравий

$$\Gamma = \frac{1}{\Pi_{\Gamma} \cdot \frac{\alpha}{\gamma_{\Gamma}} + \frac{1}{\rho_{\Gamma}}}; \quad \Pi_{\Gamma} = 1 - \frac{\gamma_{\Gamma}}{\rho_{\Gamma}}; \quad (3.13)$$

песок

$$\Pi = \left[ 1 - \left( \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} + \frac{В}{\rho_{в}} \right) \right] \cdot \rho_{п}; \quad (3.14)$$

где  $\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен щебня (гравия) раствором; для жестких бетонных смесей  $\alpha = 1,05 - 1,15$ , для пластичных смесей коэффициент  $\alpha$  принимают по табл. 3.11;  $\rho_{п}$ ,  $\rho_{щ}$ ,  $\rho_{г}$ ,  $\rho_{ц}$  – объемные массы песка, щебня, гравия и цемента соответственно;  $\rho_{в}$  – объемная масса воды ( $\rho_{в} = 1\text{г/см}^3 = 1000\text{ кг/м}^3$ );  $\gamma_{п}$ ,  $\gamma_{щ}$ ,  $\gamma_{г}$ ,  $\gamma_{ц}$  – насыпные массы песка, щебня, гравия и цемента.;  $\Pi_{щ}$  – пустотность крупного заполнителя (щебня, гравия), в формулу подставляется в виде относительной величины;  $\Pi$  – расход крупного заполнителя (щебень),  $\text{кг/м}^3$ ;  $\Gamma$  – расход крупного заполнителя (гравий),  $\text{кг/м}^3$ ;  $\Pi$  – расход мелкого заполнителя (песок),  $\text{кг/м}^3$ ;  $\text{Ц}$  – расход цемента,  $\text{кг/м}^3$ .

Таблица 3.11

Значения коэффициента  $\alpha$  для пластичных бетонных смесей

Расход цемента, $\text{кг/м}^3$	Коэффициент $\alpha$ при В/Ц				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	–	–	1,26	1,32	1,38
300	–	1,30	1,36	1,42	–
350	1,32	1,38	1,44	–	–
400	1,40	1,46	–	–	–

*Примечание.* При других значениях Ц и В/Ц коэффициент  $\alpha$  находят интерполяцией.

#### 5. Определение объемной массы бетонной смеси и коэффициента выхода бетона

Определив расход компонентов В, Ц, П, и Щ( $\Gamma$ ) на  $1\text{ м}^3$  бетонной смеси, вычисляют расчетную среднюю плотность

$$\rho_{\text{ср}} = \text{В} + \text{Ц} + \text{П} + \text{Щ}(\Gamma), \text{ кг/м}^3. \quad (3.15)$$

Далее вычисляют коэффициент выхода бетона  $\beta$  с точностью до 0,01 делением объема бетонной смеси ( $1\text{ м}^3$ ) в уплотненном состоянии на сумму объемов сухих составляющих, затраченных на её приготовление:

$$\beta = \frac{V_{\text{б.см}}}{V_{\text{п}} + V_{\text{ц}} + V_{\text{щ}(\Gamma)}} = \frac{1}{\frac{\text{Ц}}{\gamma_{\text{ц}}} + \frac{\text{П}}{\gamma_{\text{п}}} + \frac{\text{Щ}(\Gamma)}{\gamma_{\text{щ}(\Gamma)}}}. \quad (3.16)$$

Коэффициент выхода бетона представляет собой степень уменьшения объема бетонной смеси по сравнению с суммарным объемом исходных материалов и обычно значение коэффициента  $\beta$  находится в пределах  $0,55 \div 0,75$ . Также этот коэффициент является технико-экономической характеристикой качества заполнителей и бетона – чем выше значение  $\beta$ , тем экономичнее расход компонентов для приготовления бетонной смеси. Пользуясь величиной  $\beta$ , рассчитывают потребность материалов для выполнения заданного объема строительно-монтажных работ.

#### 6. Определение расхода материалов для пробного замеса

$$\begin{aligned} \text{Ц}_{\text{пр}} &= \text{Ц} \cdot \frac{V_{\text{пр}}}{1000}; & \text{В}_{\text{пр}} &= \text{В} \cdot \frac{V_{\text{пр}}}{1000}; \\ \text{П}_{\text{пр}} &= \text{П} \cdot \frac{V_{\text{пр}}}{1000}; & \text{Щ}_{\text{пр}} &= \text{Щ} \cdot \frac{V_{\text{пр}}}{1000}; \end{aligned}$$

где  $\text{Ц}_{\text{пр}}$ ,  $\text{В}_{\text{пр}}$ ,  $\text{П}_{\text{пр}}$ ,  $\text{Щ}_{\text{пр}}$  – масса цемента, воды, песка и щебня в кг на пробный замес; Ц, В, П, Щ – масса цемента, воды, песка и щебня в кг на  $1\text{ м}^3$  бетонной смеси;  $V_{\text{пр}}$  – объем пробного замеса, л. Принимается по таблице 3.11 в зависимости от наибольшей крупности заполнителя, мм.

Приготавливают бетонный замес, проверяют консистенцию бетонной смеси, определяют ее объемный вес. Отклонения от заданной подвижности бетонной смеси допускаются в пределах  $\pm 1$  см для смесей с подвижностью 2-6 см и  $\pm 2$  см для смесей с подвижностью 6-12 см. Отклонение от заданной жесткости допускается не более 15 %.

Таблица 3.11

Объем пробного замеса

Наибольшая крупность заполнителя, мм	20	40	70	150
Размер ребра образца-куба, см	10	15	20	30
Объем пробного замеса, л	6	12	25	85

При необходимости проводят корректировку состава бетонной смеси, добавляя цемент и воду для повышения пластичности, или песок и крупный заполнитель – для понижения пластичности. Количество добавляемых материалов берут в каком-либо пропорциональном отношении к расходу их на пробный замес.

Таблица 3.12

Варианты заданий

Номер варианта	Марка бетона	Заполнитель мелкий	Заполнитель крупный	Характеристики цемента	Вид конструкции
1	200	Песок высококач. $\rho_{п.} = 2640 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1480 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,23$ $W = 8 \%$	Щебень высококач. $\rho_{щ.} = 2620 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1510 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 40 \text{ мм}$ $W = 4 \%$	$\rho_{ц.} = 3000 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 400$	Подготовка под фундамент
2	200	Песок среднекачеств. $\rho_{п.} = 2520 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1350 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,71$ $W = 6 \%$	Щебень среднекачеств $\rho_{щ.} = 2500 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 70 \text{ мм}$ $W = 3 \%$	$\rho_{ц.} = 3200 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1450 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 500$	Подготовка под фундамент
3	400	Песок низкокачеств. $\rho_{п.} = 2640 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1480 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,23$ $W = 8 \%$	Щебень низкокачеств. $\rho_{щ.} = 2620 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1510 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 40 \text{ мм}$ $W = 4 \%$	$\rho_{ц.} = 3000 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 400$	Пол, покрытие дорог, аэродромов
4	250	Песок высококачеств. $\rho_{п.} = 2520 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1350 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,71$ $W = 6 \%$	Щебень высококачеств. $\rho_{щ.} = 2500 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 70 \text{ мм}$ $W = 3 \%$	$\rho_{ц.} = 3200 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1450 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 500$	Пол, покрытие дорог, аэродромов
5	350	Песок среднекачеств. $\rho_{п.} = 2640 \text{ кг/м}^3$	Щебень среднекачеств $\rho_{щ.} = 2620 \text{ кг/м}^3$	$\rho_{ц.} = 3000 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 400$	Массивные армированные конструкции

		$\gamma_{п.} = 1480 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,23$ $W = 8 \%$	$\gamma_{щ.} = 1510 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 40 \text{ мм}$ $W = 4 \%$		
6	200	Песок низкокачеств. $\rho_{п.} = 2520 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1350 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,71$ $W = 6 \%$	Щебень низкокачеств. $\rho_{щ.} = 2500 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 70 \text{ мм}$ $W = 3 \%$	$\rho_{ц.} = 3200 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1450 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 500$	Массивные армированные конструкции
7	500	Песок низкокачеств. $\rho_{п.} = 2520 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1350 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,71$ $W = 6 \%$	Щебень низкокачеств. $\rho_{щ.} = 2500 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 70 \text{ мм}$ $W = 3 \%$	$\rho_{ц.} = 3250 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1500 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 600$	Массивные армированные конструкции
8	300	Песок высококачеств. $\rho_{п.} = 2640 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1480 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,23$ $W = 8 \%$	Щебень высококачеств. $\rho_{щ.} = 2620 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1510 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 40 \text{ мм}$ $W = 4 \%$	$\rho_{ц.} = 3000 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 400$	Плиты, балки, колонны, бетонируемые на местах
9	400	Песок среднекачеств. $\rho_{п.} = 2520 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1350 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,71$ $W = 6 \%$	Щебень среднекачеств. $\rho_{щ.} = 2500 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 70 \text{ мм}$ $W = 3 \%$	$\rho_{ц.} = 3200 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1450 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 500$	Плиты, балки, колонны, бетонируемые на местах
10	250	Песок низкокачеств. $\rho_{п.} = 2640 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1480 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,23$ $W = 8 \%$	Щебень низкокачеств. $\rho_{щ.} = 2620 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1510 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 40 \text{ мм}$ $W = 4 \%$	$\rho_{ц.} = 3000 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 400$	Крепь – ручная укладка
11	350	Песок высококачеств. $\rho_{п.} = 2520 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1350 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,71$ $W = 6 \%$	Щебень высококачеств. $\rho_{щ.} = 2500 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 70 \text{ мм}$ $W = 3 \%$	$\rho_{ц.} = 3200 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1450 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 500$	Крепь – при спуске бетонной смеси по бетонопроводу
12	200	Песок низкокачеств. $\rho_{п.} = 2640 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1480 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,23$ $W = 8 \%$	Щебень низкокачеств. $\rho_{щ.} = 2620 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1510 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 40 \text{ мм}$ $W = 4 \%$	$\rho_{ц.} = 3000 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 400$	Крепь с применением пневмобетоно- укладчика
13	300	Песок высококачеств. $\rho_{п.} = 2520 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1350 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,71$ $W = 6 \%$	Щебень высококачеств. $\rho_{щ.} = 2500 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 70 \text{ мм}$ $W = 3 \%$	$\rho_{ц.} = 3200 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1450 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 500$	Подготовка под фундамент

14	450	Песок среднекачеств. $\rho_{п.} = 2520 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1350 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,71$ $W = 6 \%$	Щебень среднекачеств $\rho_{щ.} = 2500 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 70 \text{ мм}$ $W = 3 \%$	$\rho_{ц.} = 3250 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1500 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 600$	Крепь с применением пневмобетоно- укладчика
15	400	Песок высококачеств. $\rho_{п.} = 2640 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1480 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,23$ $W = 8 \%$	Щебень высококачеств $\rho_{щ.} = 2620 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1510 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 40 \text{ мм}$ $W = 4 \%$	$\rho_{ц.} = 3000 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 400$	Крепь – при спуске бетонной смеси по бетонопроводу
16	450	Песок высококачеств. $\rho_{п.} = 2640 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1480 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,23$ $W = 8 \%$	Щебень высококачеств $\rho_{щ.} = 2620 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1510 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 40 \text{ мм}$ $W = 4 \%$	$\rho_{ц.} = 3250 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1500 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 600$	Массивные армированные конструкции
17	400	Песок низкокачеств. $\rho_{п.} = 2520 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{п.} = 1350 \text{ кг/м}^3$ $M_k = 2,71$ $W = 6 \%$	Щебень низкокачеств. $\rho_{щ.} = 2500 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{щ.} = 1400 \text{ кг/м}^3$ $D_n = 70 \text{ мм}$ $W = 3 \%$	$\rho_{ц.} = 3200 \text{ кг/м}^3$ $\gamma_{ц.} = 1450 \text{ кг/м}^3$ $R_{ц.} = 500$	Крепь – ручная укладка

### Контрольные вопросы

1. Какие компоненты входят в состав бетонной смеси?
2. Что понимается под водоцементным отношением? Опишите процедуру его определения.
3. Какие факторы определяют оптимальный расход воды при приготовлении бетонной смеси?
4. Опишите процедуру определения количества цемента для бетонной смеси. Как использовался при этом минимальный расход цемента?
5. Что называется объемной и насыпной массой заполнителя, в чем их различие?
6. Что называется коэффициентом выхода бетона и как определяется его величина?
7. Каким образом определяется объем пробного замеса  $V_{пр}$ ?

### Контрольная работа №2

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАРКИ И КЛАССА БЕТОНА

**Цель работы** – овладение методикой экспериментального определения марки и класса бетона применительно к расчетам эксплуатируемых бетонных изделий.

Марка бетона определяется по **округленному в меньшую сторону** среднеарифметическому значению его прочности (в  $\text{кгс/см}^2$ ) при испытании кубических образцов бетона в возрасте 28 суток. Класс бетона помимо его прочности учитывает коэффициент вариации значений прочности (также округляемый в меньшую сторону), зависящий от технологии укладки бетона, условий его эксплуатации в изделии и пр.



## *Краткая теория*

Определение прочности бетона состоит в измерении минимальных усилий, разрушающих специально изготовленные контрольные образцы бетона при их статическом нагружении с постоянной скоростью роста нагрузки и последующем вычислении напряжения при этих усилиях в предположении упругой работы материала.

Характеристикой прочности бетона является класс и марка, которые определяются в возрасте 28 суток.

**Марка бетона** – это округленное в меньшую сторону среднее арифметическое значение кубиковой прочности бетона, измеренной в кгс/см<sup>2</sup>, принимаемое с гарантированной обеспеченностью 0,5 (50 %).

**Класс бетона** – это численная характеристика его прочности, измеряемая в МПа, учитывающая степень вариации (изменчивости) данных, принимаемая с гарантированной обеспеченностью 0,95 (95 %).

За базовый образец следует принимать куб с размером рабочего сечения 150×150 мм. Размеры образцов в зависимости от наибольшей номинальной крупности заполнителя в пробе бетонной смеси должны соответствовать указанным в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Размеры образцов в зависимости от крупности заполнителя

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

### *Подготовка образцов к испытанию*

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

Образцы из тяжелого и легкого бетонов при лабораторных исследованиях формируют следующим образом:

- 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).

При подвижности бетонной смеси менее 10 см или жесткости менее 11 с форму с уложенной бетонной смесью устанавливают на лабораторной виброплощадке и 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 с и более на форме закрепляют насадку. Форму с насадкой жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и устанавливают на поверхность смеси пригруз, обеспечивающий давление 4±0,5 кПа, и вибрируют до прекращения оседания пригруза плюс дополнительно 5 ÷ 10 с.

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

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±5) °С и относительной влажности воздуха (95±5) %.

### *Проведение испытания*

1. Перед испытанием образцы подвергают визуальному осмотру, устанавливая наличие дефектов в виде сколов ребер, раковин и инородных включений. Образцы, имеющие трещины, сколы ребер глубиной более 10 мм, раковины диаметром более 10 мм и глубиной более 5 мм (кроме бетона крупнопористой структуры), а также следы расслоения и недоуплотнения бетонной смеси, испытанию не подлежат. Наплывы бетона на ребрах опорных граней образце должны быть удалены напильником или абразивным камнем. В случае необходимости фиксируют схему расположения дефектов.

2. На образцах выбирают и отмечают грани, к которым должны быть приложены усилия в процессе нагружения.

*Опорные грани отформованных образцов-кубов, предназначенных для испытания на сжатие, выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси в формы.*

3. Линейные размеры образцов измеряют с погрешностью не более 1 %. Результаты измерений линейных размеров образцов записывают в таблицу.

4. Перед установкой образца на пресс или испытательную машину удаляют частицы бетона, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах пресси. Нагружение образцов производят непрерывно со скоростью, обеспечивающей повышение расчетного напряжения в образце до его полного разрушения в пределах  $(0,6 \pm 0,4)$  МПа/с при испытаниях на сжатие. При этом время нагружения одного образца должно быть не менее 30 с.

5. Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку и записывают его в таблицу.

6. Разрушенный образец необходимо подвергнуть визуальному осмотру и отметить в журнале испытаний: характер разрушения; наличие крупных (объемом более 1 см<sup>3</sup>) раковин и каверн внутри образца; наличие зерен заполнителя размером более  $1,5d_{\max}$ , комков глины, следов расслоения.

Результаты испытаний образцов, имеющих перечисленные дефекты структуры, и характер разрушения, учитывать не следует.

#### *Обработка результатов*

Прочность бетона для каждого образца следует вычислять по формуле, кгс/см<sup>2</sup>:

$$R_C = \alpha \cdot (P/S),$$

где  $P$  – разрушающая нагрузка, кгс;  $S$  – площадь рабочего сечения образца, см<sup>2</sup>;  $\alpha$  – масштабный коэффициенты для приведения прочности бетона к прочности бетона в образцах базовых размера и формы. Значения масштабных коэффициентов приведены ниже.

<b>Размеры образца, мм</b>	70	100	150	200	300
<b>Масштабные коэффициенты</b>	0,85	0,95	1,00	1,05	1,10

По вычисленному среднему значению прочности (расчетного сопротивления) определяют значение марки бетона (в возрасте 28 суток).

Для определения прочности бетона в любой срок, а также для решения вопроса о возможности распалубки монолитных железобетонных конструкций можно пользоваться приближенной эмпирической формулой:

$$R_n = R_{28} \cdot (1gn/1g28),$$

где  $R_n$  – прочность бетона в возрасте  $n$  суток, МПа;  $R_{28}$  – прочность бетона в возрасте 28 суток, МПа.

Класс бетона кроме прочности учитывает еще и степень ее изменчивости, которая является важной характеристикой непосредственно указывающей на однородность бетона. Строительными нормами и правилами (СНиП) принимают нормативный коэффициент вариации  $v=0,135$ , или 13,5 %, при котором технология бетонных работ считается удовлетворительной. Превышение величины  $v$  свидетельствует о каких либо отклонениях от нормы.

#### **Методика эксперимента**

1. В соответствии с методическими указаниями к лабораторной работе производится определение прочности при сжатии и обработка результатов для кубических образцов бетона размером 150 мм в возрасте 7; 14; 28 и 50 суток.

среднее квадратическое отклонение (стандарт):

$$S = [\sum(x_i - X_{cp})^2/n]^{1/2},$$

где  $n$  – количество испытаний.

Коэффициент вариации прочности бетона:

$$v = S/ X_{cp}$$

2. Определяется марка бетона. Для тяжелого бетона установлены следующие марки: М: 75; 100; 150; 250; 300; 350; 400; 450; 500; 550; 600; 700; 800.

3. Опытные значения прочности бетона (точки) наносятся на поле графика, определяется и производится построение теоретической кривой твердения бетона:

$$R_n = R_{28} (\lg n/\lg 28),$$

где  $n$  – время твердения бетона, сут.

Производится оценка соответствия теоретической кривой опытными значениями прочности бетона.

4. Для каждого возраста бетона определяется его класс по формуле:

$$B = R_c (1 - 1,64 v),$$

где  $R_c$  – средняя прочность бетонных кубиков при коэффициенте вариации  $v$ .

4.1. Определяется класс бетона по данным  $R_c$  и  $v$ , полученным в опыте (В). Опытные точки наносятся на поле графика.

4.2. Определяется и показывается на графике теоретическая кривая уравнения (2.2) при  $R_c$ , вычисленном по формуле (2.1) и  $v = 0,135$  (Вт).

Время твердения, сут	Прочность бетона, кгс/см <sup>2</sup>	$\lg n/\lg 28$	$R_n$	В	Вт
0	0	0	0,0	0,0	0,0
7					
14					
28					
50					

Определяется обобщенный класс бетона в 28-суточном возрасте. Классы бетона В: 5; 7,5; 10; 12,5; 15; 20; 22,5; 25; 30; 35; 40

5. Произвести расчет толщины бетонной крепи вертикального ствола шахты по формуле:

$$\delta_k = \gamma_b r_0 \left( \left( \frac{R_{пр} / \gamma_m}{R_{пр} / \gamma_m - 2 P_{п}} \right)^{1/2} - 1 \right),$$

где  $\gamma_b$  – коэффициент условий работы крепи, равный 1,25;

$r_0$  – радиус ствола в свету, мм;

$\gamma_m$  – коэффициент надежности по материалу (бетону), принимаемый в соответствии с СП 63.13330, равным 1,3;

$R_{пр}$  – расчетное сопротивление бетона сжатию, кПа;

$R_{п}$  – расчетная нагрузка на крепь, кПа.

6. Принять технологическую толщину крепи из условия - *проектная толщина крепи принимается с округлением расчётного значения  $\delta_k$  в большую сторону кратной 50 мм.*

Производится сравнение полученных результатов и делаются выводы о качестве приготовления бетона и условий его работы в конструкции.

### Пример распечатки результатов

#### ОЦЕНКА МАРКИ И КЛАССА БЕТОНА

<b>Проба</b>	портландцемент
--------------	----------------

7 суток			14 суток		
Площадь, см <sup>2</sup>	Нагрузка, тс	Прочность, кгс/см <sup>2</sup>	Площадь, см <sup>2</sup>	Нагрузка, тс	Прочность, кгс/см <sup>2</sup>
99,7	24,5	245,5	99,8	26,8	268,1
99,4	27,0	271,3	99,9	34,9	349,8
99,5	27,2	273,8	99,7	28,4	285,4
99,6	27,7	278,4	99,3	32,0	322,1
99,8	25,2	252,6	99,9	35,4	353,9
99,1	26,5	267,0	99,4	32,4	326,4
<b>Среднее</b>		<b>264,8</b>	<b>Среднее</b>		<b>317,6</b>
<b>Стандарт</b>		<b>21,31</b>	<b>Стандарт</b>		<b>60,94</b>
<b>Квар, %</b>		<b>8,2</b>	<b>Квар, %</b>		<b>19,1</b>

28 суток			50 суток		
Площадь, см <sup>2</sup>	Нагрузка, тс	Прочность, кгс/см <sup>2</sup>	Площадь, см <sup>2</sup>	Нагрузка, тс	Прочность, кгс/см <sup>2</sup>
99,2	42,7	430,6	99,2	56,8	572,3
100,0	35,4	354,3	100,0	39,8	398,5
100,0	42,5	424,5	99,9	40,2	402,7
99,2	38,2	385,2	99,6	54,4	546,1
99,9	34,7	347,5	99,3	46,2	464,9
99,7	42,3	424,5	99,6	39,7	398,7
<b>Среднее</b>		<b>399,1</b>	<b>Среднее</b>		<b>463,9</b>
<b>Стандарт</b>		<b>51,88</b>	<b>Стандарт</b>		<b>111,19</b>
<b>Квар, %</b>		<b>13,0</b>	<b>Квар, %</b>		<b>23,2</b>

РАСЧЕТ БЕТОННОЙ КРЕПИ			
<b>Радиус ствола в свету, мм</b>			3300
<b>Нагрузка на крепь, кПа</b>			800

Толщина крепи, мм

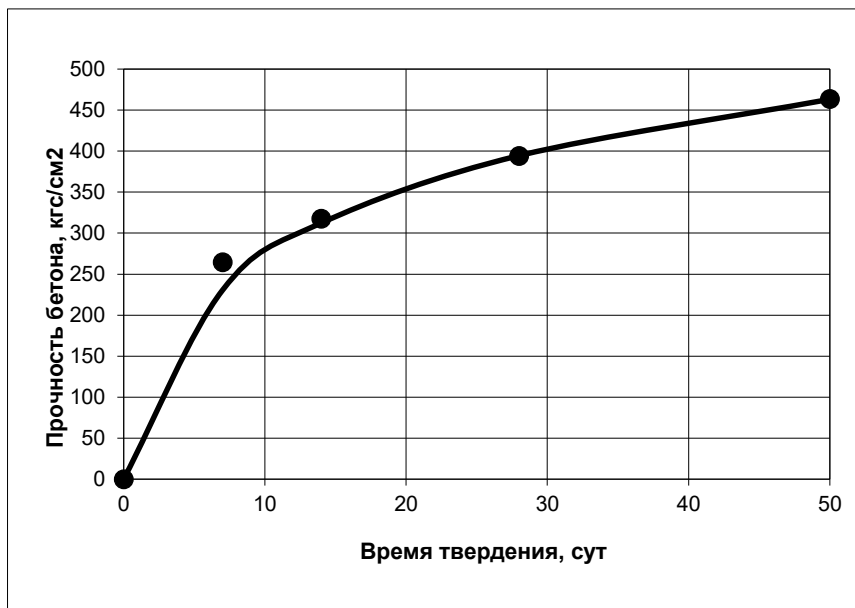


Рис. 1. Изменение прочности бетона со временем твердения

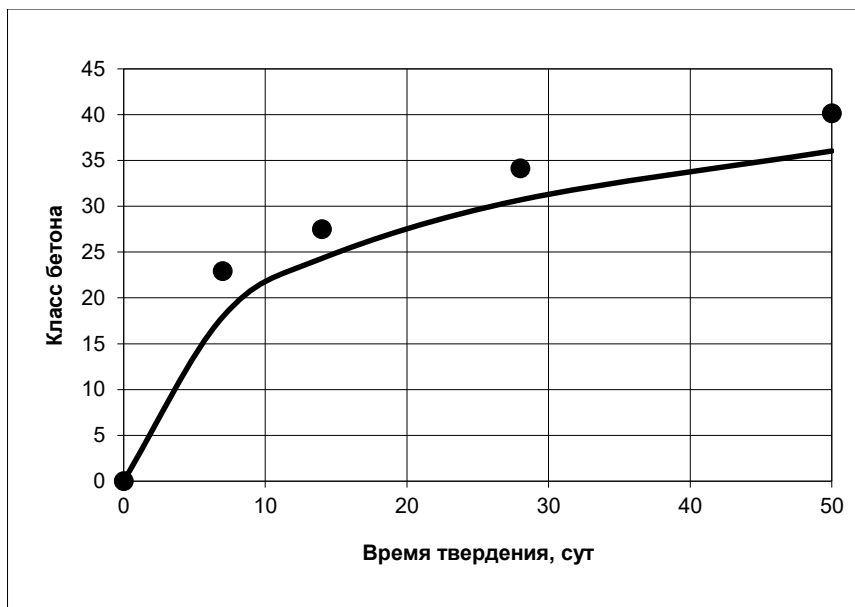


Рис. 2. Теоретические и опытные значения класса бетона

Время твердения, сут	Прочность бетона, МПа	lg n / lg 28	Rn	B	Bt
0	0	0	0,0	0,0	0,0
7	264,8	0,5839708	230,3	22,9	17,9
14	317,6	0,7919854	312,4	27,5	24,3
28	394,4	1	394,4	34,1	30,7
50	463,9	1,1740045	463,1	40,1	36,1

### Контрольные вопросы

1. Что называется бетоном и по каким признакам они классифицируются?
2. Какие методы испытаний бетона Вы знаете?

3. Что понимают под неразрушающим контролем прочности бетона? Охарактеризуйте методы неразрушающего контроля для оценки прочности.
4. Какие требования предъявляются к подготовке образцов перед испытанием на прочность?
5. Что называется прочностью бетона, в каких единицах она измеряется?
6. Опишите метод определения прочности бетона по контрольным образцам
7. Что называется маркой и классом бетона? В чем их различие?
8. От чего зависит масштабный коэффициент при вычислении прочности бетона на сжатие?

### **Порядок выполнения и оформления контрольной работы**

1. Производят все указанные в задании построения диаграмм и вычисления характеристик материалов.

2. В соответствии с заданием выполняют анализ полученных результатов.

3. Оформляют и защищают контрольную работу.

*Контрольная работа должна состоять из титульного листа с указанием ее названия, автора и руководителя; краткой теории вопроса; сводки результатов и выводов.*

*При выполнении графических построений и таблиц на компьютере приводятся их распечатки.*

*Все расчеты оформляются в виде формулы в общем виде, ее числовое выражение и полученный результат с указанием размерности.*