

## Лабораторная работа №10

*Проектирование состава тяжелого бетона расчетно-экспериментальным методом и исследование основных факторов, влияющих на свойства бетона*

**Цель работы.** Освоить методику проектирования рационального состава тяжелого бетона расчетно-экспериментальным методом и исследовать факторы, влияющие на состав бетона.

**Введение.** Проектирование состава бетона расчетно-экспериментальным методом производится в три этапа: 1) предварительный расчет расхода материалов на пробные замесы; 2) уточнение параметров состава на пробных замесах; 3) определение расхода составляющих на 1 м<sup>3</sup> бетона (назначение состава).

Для того чтобы осуществить проектирование состава бетона, необходимо знать: заданную прочность бетона к определенному возрасту (или другие его свойства), которые задаются обычно в рабочих чертежах; удобоукладываемость бетонной смеси (назначается в зависимости от размеров конструкции, густоты армирования, способов укладки и уплотнения); вид и наибольшую крупность заполнителя; вид и марку цемента.

Для экономичного расходования цемента необходимо соблюдать рекомендации табл. 8.1.

Таблица 8.1. Рекомендуемые для бетона марки цемента

Класс бетона	Марка цемента	Класс бетона	Марка цемента
B7,5	300	B25	500
вю	400	B30	600
ВЦ	400	B40	600

**Ход работы.** Работа состоит из нескольких заданий, каждое из которых выполняется двумя звеньями, в задании предусматривается проектирование состава тяжелого бетона расчетно-экспериментальным методом и исследование факторов, влияющих на состав бетона.

Задание 1. Звену 1 подобрать состав тяжелого бетона с заданной прочностью 20 МПа из бетонной смеси подвижностью 5.. .6 см. Материалы; портландцемент М100; песок средней крупности; щебень известняковый с  $D_{\text{наиб}}=20$  мм. Рассчитать состав бетона, если песок имеет влажность 5%, а щебень— 1,5%.

Звено 2 выполняет аналогичное задание, но дополнительно необходимо исследовать, как влияет жесткость бетонной смеси на состав бетона той же прочности путем параллельного проектирования состава бетона с жесткостью 5.. .12 с (по ГОСТ 10181.1.—81).

Задание 2. То же, что и в задании 1, но подбор состава бетона осуществляется на гравии с  $D_{\text{наиб}}=20$  мм. Рассчитать производственный состав бетона, если она имеет влажность 4%, а гравий— 1%.

Задание 3. Звену 1 подобрать состав тяжелого бетона с заданной прочностью 20 МПа из бетонной смеси подвижностью 5.. .6 см. Отпускная прочность 70% от марочной. Материалы те же, что и в задании 1.

Звено 2 выполняет то же задание, что и первое звено, но необходимо дополнительно исследовать, как влияет на состав бетона  $M_{кр}$  песка путем параллельного подбора состава бетона на мелком песке.

**Указания по проведению лабораторной работы.** Каждое звено рассчитывает состав тяжелого бетона, исходя из конкретных условий задания следующим образом:

1. Определяют водоцементное (или цементно-водное) отношение в зависимости от требуемой прочности, срока и условий твердения по заданию путем предварительных опытов, устанавливающих зависимость прочности бетона от этого фактора и активности цемента (с использованием данных заполнителей) или ориентировочно по формулам:

$$R_6 = AR_u (\text{Ц/В} \pm 0,5),$$

откуда

а) для обычного бетона с  $\text{В/Ц} \geq 0,4$  ( $\text{Ц/В} \leq 2,5$ )

$$\text{В/Ц} = AR_u / (R_6 + A \cdot 0,5R_u); \quad (1)$$

б) для высокопрочного бетона с  $\text{В/Ц} \leq 0,4$ ; ( $\text{Ц/В} \geq 2,5$ )

$$\text{В/Ц} = A_1 R_u / (R_6 - A_1 \cdot 0,5R_u). \quad (2)$$

Значения коэффициентов  $A$  и  $A_1$  в приведенных формулах можно принять по табл. 8.2 в зависимости от качества используемых материалов.

Таблица 8.2. Значения коэффициентов  $A$  и  $A_1$

Характеристики материалов	$A$	$A_1$
Высококачественные	0.65	0,43
Рядовые	0.6	0.40
Пониженного качества (гравий вместо щебня, мелкий песок)	0,55	0,37

При тепловой обработке бетона в изделиях важно не только обеспечить получение заданной прочности бетона, но и обеспечить после тепловой обработки так называемую отпускную прочность, которая обычно должна составлять ~70% от заданной прочности. При принятых на заводах режимах тепловой обработки прочность бетона обычно получается меньше 70% от заданной прочности. В этих случаях приходится несколько завышать проектную прочность бетона и принимать ее по формуле

$$R_{\text{расч}} = K_0 R_{28} / K_{\phi}$$

где  $K_0$  — доля от прочности бетона, которая должна быть получена к концу тепловой обработки для обеспечения заданной отпускной прочности бетона;  $K_{\phi}$  — доля прочности бетона от 28-суточной прочности нормального твердения, которая может быть (примерно) получена в зависимости от состава бетона, длительности и температуры тепловой обработки и других факторов (табл. 8.3).

Таблица 8.3. Значения коэффициента  $K_{\phi}$

Характеристика смеси	Продолжительность тепловой обработки	
	6 ... 8ч	8... 12 ч
Подвижная смесь с осадкой конуса 6 см	0,55	0,60
То же, с осадкой менее 6 см	0,58	0,65
Умеренно жесткая смесь Ж <sub>2</sub>	0,62	0,7
Жесткая смесь Ж <sub>1</sub>	0,67	-

Пересчитанная таким образом прочность бетона может быть введена в формулы (1) и (2) для расчета необходимого водоцементного отношения.

2. Определяют расход воды исходя из заданной удобоукладываемости по табл. 8.4.

3. Находят расход цемента по формуле

$$Ц = ВЦ / В$$

Если расход цемента на  $1\text{ м}^3$  бетона окажется ниже допускаемого по строительным нормам и правилам, то необходимо увеличить его до нормы.

4. Вычисляют расход крупного заполнителя и песка в кг на  $1\text{ м}^3$  бетона, исходя из следующих двух условий:

а) сумма абсолютных объемов компонентов, расходуемых на  $1\text{ м}^3$  хорошо уплотненной бетонной смеси для получения плотного бетона, должна равняться 1000 л (небольшим объемом вовлеченного воздуха, порядка 1,5..2% можно пренебречь).

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + В + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} = 1000; \quad (3)$$

Таблица 8.4. Расход воды в бетонной смеси ( $\text{л}/\text{м}^3$ )

Показатели смеси	Жесткость по ГОСТ 10181.1-81, с	Подвижность, см	Расход воды, л/м <sup>3</sup> , при крупности заполнителей, мм							
			гравий				щебень			
			10	20	40	70	10	20	40	70
Ж <sub>0</sub>	> 31	—	150	135	125	120	160	150	135	130
Ж <sub>1</sub>	30 ... 21	—	160	145	130	125	170	160	145	140
Ж <sub>2</sub>	20 ... 11	—	165	150	135	130	175	165	150	145
Ж <sub>3</sub>	10 ... 5	—	175	160	145	140	185	175	160	155
П <sub>1</sub>	—	1 ... 4	190	175	160	155	200	190	175	170
П <sub>2</sub>	—	5 ... 9	200	185	170	165	210	200	185	180
П <sub>3</sub>	—	10 ... 15	215	205	190	180	225	215	200	190
П <sub>4</sub>	—	16 ... 20	225	220	205	195	235	230	215	205

Примечание. 1. Расход воды приведен для смеси на портландцементе с НГЦТ-26...28%, на песке с  $M_{кр}=2$ . При изменении нормальной плотности цементного теста на каждый процент в меньшую сторону, расход воды уменьшается на 3...5л, в большую — увеличивается на то же значение. 3. При изменении модуля крупности песка на каждые 0,5 в меньшую сторону расход воды увеличивается на 3...5л, в большую сторону — уменьшается на то же значение.

б) цементно-песчаный раствор в бетонной смеси должен заполнить пустоты в крупном заполнителе с учетом некоторой раздвижки зерен. Необходимый объем раствора можно определить, если принять, что раздвижка зерен крупного заполнителя увеличит его пустотность на некоторый коэффициент  $\alpha$  (больше единицы).

Таким образом, необходимый объем растворной составляющей в бетонной смеси определяется из равенства

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} + В + \frac{П}{\rho_{п}} = V_{щ} \frac{Щ}{(\rho_{щ} \alpha)}, \quad (4)$$

где Ц, В, П и Щ — расходы цемента, воды, песка и щебня;  $\rho_{щ}$  — насыпная плотность щебня, кг/л;  $\rho_{ц}$ ,  $\rho_{п}$ ,  $\rho_{щ}$  — плотность цемента, песка и щебня, кг/л;  $\alpha$  — коэффициент раздвижки зерен щебня раствором;  $V_{щ}$  — пустотность щебня в относительных единицах.

Решая совместно уравнения (3) и (4), получаются формулы, позволяющие рассчитать необходимый расход крупного заполнителя и песка в кг на 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$Щ = 1000 / (V_{щ} \alpha / \rho_{щ} + 1 / \rho_{щ}).$$

Значения коэффициента  $\alpha$ , зависящего от расхода цемента и водоцементного отношения для подвижных смесей приведены в табл. 8.5.

Таблица 8.5. Значения коэффициента  $\alpha$

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	α при В/Ц					
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	—	—	—	1,26	1,32	1,38
300	—	—	1,3	1,36	1,42	—
350	—	1,32	1,38	1,44	—	—
400	1,31	1,4	1,46	—	—	—
500	1,44	1,52	1,56	—	—	—
600	1,52	1,56	—	—	—	—

Примечания: 1. При других значениях Ц и В/Ц коэффициент α находится интерполяцией. 2) При использовании мелкого песка с водопотребностью более 7% коэффициент α уменьшают на 0.03 на каждый процент увеличения водопотребности песка. Если применять крупный песок водопотребностью менее 7%, то α увеличивают на 0.03 на каждый процент уменьшения водопотребности песка. 3. Для жестких бетонных смесей при расходе цемента менее 400 кг/м<sup>3</sup> принимают α = 1.1. 4. Значения α < 1,05 принимают в случае использования мелких песков. 5. Для составов жестких смесей с расходом цемента более 400 кг/м<sup>3</sup> принимают α > 1.1.

Далее определяют расход песка в кг на 1 м<sup>3</sup> бетона по формуле

$$П = 1000 - (Ц/\rho_{ц} + В + Ш/\rho_{ш}) \rho_{ит}$$

5. По найденным расходам всех составляющих материалов на 1 м<sup>3</sup> рассчитывают расход компонентов на пробный замес принятого объема V, л.

6. Из пробных замесов каждое звено изготавливает образцы-кубы размером 100x100x100 мм в количестве не менее 3 шт. и определяет плотность свежееотформованного бетона. Если при изготовлении замесов подвижность (жесткость) смеси отличается от заданной, то необходимо провести корректирование ее удобоукладываемости по методике, приведенной в предыдущих лабораториях.

После твердения по принятому режиму образцы испытывают для определения прочности бетона при сжатии. Перед испытанием измеряют грани образца с точностью до 1 мм и взвешивают. По результатам испытаний двух-трех серий образцов по указанным срокам строят график зависимости  $R_6 = f(W/B)$  (рис. 8.1). На графике для заданной прочности бетона находится искомое значение цементно-водного отношения, обеспечивающее получение необходимой прочности бетона.

7. Пользование формулами для расчета цементно-водного отношения, при котором обеспечивалась бы достаточно точно заданная прочность бетона, почти не представляется возможным, так как приведенные выше формулы (и аналогичные им другие) по своему построению и рекомендуемым числовым значениям коэффициентов не учитывают конкретные условия в каждом случае. Поэтому они пригодны лишь для

предварительных расчетов расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона, а не для назначения состава бетона в конкретных условиях технологического процесса.

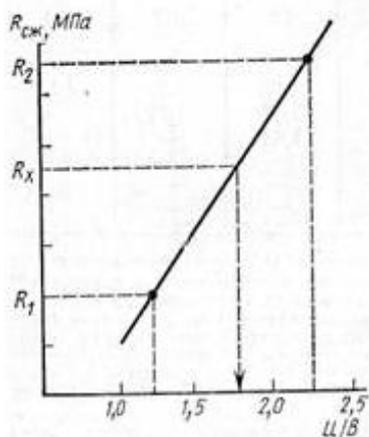


Рисунок 8.1. Влияние цементно-водного отношения на прочность бетона при сжатии

В основу подбора состава бетона в данной лабораторной работе положено нахождение необходимого значения цементно-водного отношения на основе построения зависимости  $R_6=f(C/V)$  по результатам экспериментальных данных, полученных для заданных технологией условий.

Поскольку эту зависимость на определенном участке значений цементно-водных отношений при постоянном качестве материалов можно принять линейной, достаточно иметь показатели прочности при двух различных значениях такого отношения (при прочих равных условиях), чтобы построить эту зависимость графически и по ней выбрать то значение цементно-водного отношения, которое обеспечит получение заданной прочности бетона и будет положено в основу расчета рекомендуемого состава бетона.

Для построения графика зависимости  $R_6=f(C/V)$  готовят еще один или два замеса, отличающиеся от первого замеса значениями цементно-водного отношения на  $\pm 0,5$  так, чтобы значения этого отношения были в пределах 1,2. ..2,5. Расчет материалов на эти замесы производят по вышеизложенной методике.

8. Зная расход воды ( $V=\text{const}$ ) и цементно-водное отношение, рассчитывают расход материалов на 1 м<sup>3</sup>.