

Л. И. ДВОРКИН, В. В. ЖИТКОВСКИЙ, Ю. А. СТЕПАСЮК  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

Ровно, Украина

В настоящее время разработан комплекс технологических параметров для получения бетонов типа High Performance Concrete (HPC), которые характеризуются прочностью на сжатие в возрасте двух суток, как правило, 30...50 МПа, 28 суток – 60...150 МПа.

Согласно известным теоретическим представлениям прочность бетона пропорциональна прочности цементного камня. По Т. Шауэрсу прочность образцов цементного камня при сжатии  $R_{ц.к.}$ , твердеющих в нормальных условиях, соответствует уравнению:

$$R_{ц.к.} = AX^n \quad (1)$$

где  $A$  – константа, характеризующая прочность цементного геля ( $A \approx 240$  МПа);  $n$  – коэффициент, обусловленный особенностями цемента ( $n = 2.6...3$ );  $X$  – структурный критерий.

По достигаемой прочности цементного камня можно ориентировочно прогнозировать, возможную с учетом особенностей заполнителей, прочность бетона. Однако для проектирования составов бетона, при известной прочности цементного камня необходимо, эмпирически определить параметры, характеризующие влияние заполнителей, что является довольно сложно.

Для практики при расчете составов бетона в т. ч. и высокопрочных наиболее удобными остаются формулы вида:

$$R_6 = AR_{ц}(\text{Ц/В} - b), \quad (2)$$

где  $R_6$  – требуемая прочность бетона;  $R_{ц}$  – стандартная активность цемента; Ц/В – цементно-водное отношение;  $A$ ,  $b$  – коэффициенты, учитывающие особенности исходных материалов, возраст бетона и другие технологические факторы.

Ранее, Б. Г. Скрамтаевым и Ю. М. Баженовым было показано, что в широком диапазоне Ц/В зависимость  $R_6 = f(\text{Ц/В})$  можно представить как кусочно-линейную функцию с точкой перелома при Ц/В = 2,5 (В/Ц = 0,4). Как показано исследованиями, выполненными в последние десятилетия, введение в бетонные смеси добавок-суперпластификаторов позволяет обеспечить линейность зависимости  $R_6 = f(\text{Ц/В})$  в диапазоне Ц/В от 1 до 4.

Для ориентировочных расчетов Ц/В при проектировании составов высокопрочных особо быстротвердеющих бетонов, как показывает обработка экспериментальных данных, при В/Ц = 0,25...0,35 может быть использована формула:

$$R_6 = KAR_{ц}(\text{Ц/В} - 0,5), \quad (3)$$

где  $A$  – коэффициент, учитывающий особенности исходных материалов;  $K$  – коэффициент, учитывающий возраст бетона при введении в бетонную смесь определенной химической добавки.

Величина  $R_{ц}$  в формуле (3) соответствует прочности цемента, определенной по стандартной методике в заданном возрасте.

Как показали экспериментальные данные, при введении в бетонные смеси суперпластификатора поликарбоксилатного типа Melflux 2651 F усредненные значения  $K$  оказались равными для бетона в возрасте 12 ч – 1,7; 2 сут. – 1,25; 28 сут. – 1.

Для более точных расчетов необходимых значений В/Ц или Ц/В для бетона, обеспечивающего необходимые прочностные показатели в определенном возрасте целесообразно значения коэффициентов в формуле (3) принимать по эмпирическим данным, привязанным к конкретным материалам или использовать специальные зависимости. С этой целью может быть использовано факторное планирование эксперимента. Для этого был реализован полнофакторный эксперимент типа  $2^3$  включающий 8 опытов при варьировании трех факторов:  $X_1$ –В/Ц (0,25...0,35), расход цемента,  $X_2$ –Ц (500...600 кг/м<sup>3</sup>) и активность цемента,  $X_3$ – $R_{ц}$  (53...65 МПа).

Табл. 1. Расчетные уравнения прочности бетона

Параметр	Уравнения	
Полиномиальные модели		
$R_6^{12 \text{ час}}$	$R_6^{12 \text{ час}} = 46,1 - 18,8X_1 - 0,3X_2 + 6,4X_3 + 1,5X_1X_2 + 1,1X_1X_3 + 1,2X_2X_3$	(4)
$R_6^{1 \text{ сут}}$	$R_6^{1 \text{ сут}} = 60 - 13,8X_1 + 0,4X_2 + 4,4X_3 + 0,2X_1X_2 + 0,8X_1X_3 - 0,9X_2X_3$	(5)
$R_6^{2 \text{ сут}}$	$R_6^{2 \text{ сут}} = 73,9 - 17,5X_1 + 0,5X_2 + 1,8X_3 + 0,1X_1X_2 - 1X_1X_3 - 0,4X_2X_3$	(6)
$R_6^{28 \text{ сут}}$	$R_6^{28 \text{ сут}} = 99 - 14,7X_1 + X_2 + 3,6X_3 - 0,5X_1X_2 + 0,4X_1X_3 - X_2X_3$	(7)

Наряду с уравнениями регрессии ниже приведены полученные с их помощью уравнения, соответствующие общей формуле (3). Величина  $R_{ц}$  в этих уравнениях соответствует 28-суточной активности цемента.

$$R_6^{12 \text{ год.}} = 0,59R_{ц}(Ц/В - 1,92), \quad (8)$$

$$R_6^{1 \text{ доба}} = 0,6R_{ц}(Ц/В - 1,6), \quad (9)$$

$$R_6^{2 \text{ доби}} = 0,62R_{ц}(Ц/В - 1,35), \quad (10)$$

$$R_6^{28 \text{ днб}} = 0,48R_{ц}(Ц/В + 0,22). \quad (11)$$

Комплекс полученных уравнений позволяет использовать их как для прогноза прочности бетона в заданном возрасте, так и для проектирования составов бетонных смесей.