

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА С ХИМИЧЕСКИМИ ДОБАВКАМИ

Воронов Ю. Н. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния водонасыщения на прочность тяжёлого бетона с химическими добавками.

Известно, что при увлажнении прочность каменных материалов снижается, при этом коэффициент размягчения различных материалов колеблется в очень широких пределах (от 0 до 1).

Положительное влияние влаги на нарастание прочности бетона в процессе его твердения приводило к ошибочному мнению о благоприятном воздействии водонасыщения на прочность бетона. Как показали результаты исследований отечественных и зарубежных исследований, прочность зрелого бетона при водонасыщении уменьшается. Влиянию влажности в момент испытания на прочность бетона посвящено значительное количество работ. Однако этот вопрос изучен недостаточно, о чем говорят противоречивые результаты и выводы, полученные разными авторами.

К. А. Мальцовым [1] приведена линейная зависимость между прочностью бетона и его водонасыщением, которая выражается формулой:

$$R_m = R_c \left(1 - \frac{W - W_0}{\alpha} \right)$$

где: W_0 и W – влажность в % соответственно «сухого» и водонасыщенного образца;

R_c и R_m – прочность соответственно в «сухом» и водонасыщенном состоянии;

α – коэффициент колеблющийся в широких пределах от 12 до 30. Однако данных о том, от чего зависит коэффициент α не приводится.

По данным В. М. Москвина [2] снижение призмочной прочности при увлажнении для бетонов на высокоалюминатном цементе составляет около 35% по сравнению с бетоном в сухом состоянии. По

данным К. А. Мальцова [3] снижение прочности водонасыщенного бетона на сжатие составляет 25%, на растяжение – 40 %.

Г. Д. Цискрели [4] получены противоположные результаты: насыщенные образцы обладают большей прочностью, чем сухие. Но большинство исследователей приходит к выводу о том, что влажность бетона в момент испытания существенно снижает прочность его как при растяжении, так и при сжатии, т.е. подтверждается наличие адсорбционного понижения прочности по П. А. Ребиндеру [5] при любом влагосодержании бетона. Поэтому влажность бетона необходимо учитывать как при назначении расчетных характеристик, так и при эксплуатации бетонных и железобетонных конструкций, изготовленных по обычной технологии и работающих в условиях увлажнения (сваи, лотки, трубы, гидротехнические конструкции и т.д.).

Данных о поведении бетона при увлажнении в случаях, когда в составе бетона имеются химические добавки-ускорители и пластификаторы – очень мало. В настоящей работе с использованием математического моделирования исследовалось влияние влажности на прочность бетона заводского изготовления с химическими добавками. Эксперименты велись на портландцементе М-400 Одесского цементного завода, в качестве заполнителей использовался гранитный щебень фракции 5-10 и 10-20 мм и морской песок с примесью ракушки, на котором работает большинство Одесских заводов ЖБИ.

Выполнена серия экспериментов с использованием плана $H_{5,5}$, в котором независимыми переменными являлись цементно-водное отношения (x_1), кол-во комплексной добавки хлористого кальция и нитрита натрия в % от массы цемента (x_2), доля песка в смеси заполнителей (x_3), содержание примесей ракушки в морском песке (x_4) и количество добавки-пластификатора С-3 в % от массы цемента (x_5).

Уровни варьирования факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Исследуемые факторы и уровни их варьирования.

№ п/п	Факторы	Уровни варьирования		
		-1	0	+1
1	Ц/В (x_1)	1,5	2,0	2,5
2	Комплексная добавка $CaCl_2+NaNO_2$ в % (x_2)	0	0,8	1,6
3	Доля песка в смеси заполнителей, г (x_3)	0,34	0,40	0,46
4	Содержание примеси ракушки в песке в % от массы песка, Р (x_4)	0	10	20
5	С-3 в % от массы цемента (x_5)	0	0,3	0,6

Уровни варьирования добавки хлористого кальция, как ускорителя твердения бетона, назначены согласно данным, приведенным в статье С. А. Миронова и др. [6], где в качестве оптимального количества рекомендуется расход хлористого кальция от 0,5 до 1,5 % от массы цемента, количество нитрита натрия как ингибитора коррозии арматуры составляло 60 % от расхода хлористого кальция.

В качестве отклика использовались коэффициент

$$\alpha = \frac{R_e - R_m}{R_e \cdot \Delta W} \cdot 100 \%,$$

характеризующий относительное снижение прочности

$$K = \frac{R_e - R_m}{R_e} \cdot 100 \%,$$

при увеличении влажности на 1 %, и коэффициент характеризующий относительное снижение прочности при увлажнении, где R_e – прочность бетона при естественной влажности; R_m – прочность увлажнённого бетона; ΔW – разница во влажности водонасыщенного бетона и бетона при естественной влажности.

Испытания проводились на образцах-кубах с размером ребра 10 см в возрасте 28 суток после термообработки по режиму 3+8+3 при температуре 85°C.

Часть образцов испытывалась в нормально-влажностном состоянии, другая часть образцов-близнецов испытывалась в насыщенном водой состоянии. Насыщение осуществлялось путём постепенного погружения образцов в воду в течение 4-х суток. Перед испытанием на прессе измерялась скорость ультразвука в образцах. В результате реализации плана, фрагмент которого с наиболее характерными точками приведен в таблице 2, получены адекватные модели коэффициентов α и K .

Таблица 2. Фрагмент реализованного плана типа На-5

№№ опыта	Факторы					Результаты испытаний				Отклики	
	Ц/В	CaCl ₂ + NaNO ₂	г	Р	С-3	Естественное хранение		Увлажнение перед испытанием		α, %	K, %
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	R _e , кгс/см ²	W _e , %	R _m , кгс/см ²	W _m , %		
1											
2	+	+	-	-	-	573	5,0	512	6,45	7,3	11
11	-	-	+	+	-	211	2,75	165	6,0	6,6	21
12	+	+	+	+	-	576	4,7	494	6,25	9,1	14
18	-	0	0	0	0	211	3,0	169	5,90	6,9	20
21	0	0	0	0	0	384	3,8	323	7,60	7,6	12
30											

$$\alpha = 5 + x_2 + 1,5x_1x_2 + 2,5x_2^2 \quad (1)$$

$$K = 12 - 5x_1 + x_2 + 1,5x_1x_2 + 4x_2^2 \quad (2)$$

Статистические оценки моделей приведены в таблице 3.

Таблица 3. Статистические оценки моделей коэффициентов α и K .

Отклики	Статистические оценки										
	$S_{b_0}^2$	$S_{b_1}^2$	$S_{b_{ij}}^2$	$S_{b_{ii}}^2$	Δb_0	Δb_i	Δb_{ij}	Δb_{ii}	S_y^2	F	$F_{\text{табл.}} q=5\%$
α	0,217	0,148	0,166	1,08	0,93	0,77	0,82	2,08	2,6	1,4	4,5
K	0,86	0,35	0,39	2,56	1,86	1,2	1,26	3,2	6,25	2,6	4,5

Значимыми оказались коэффициенты при x_1 – В/Ц; x_2 – $\text{CaCl}_2 + \text{NaNO}_2$ и взаимодействие x_1x_2 .

Анализ показал, что С-3, г и содержание ракушки в песке не оказывают заметного влияния на прочность бетона при насыщении водой.

Характер влияния $\text{CaCl}_2 + \text{NaNO}_2$ совпадает с тенденциями, отмеченными Н. А. Мощанским [7], который указывал, что введение CaCl в количестве до 40 % от массы цемента может привести к полной потере прочности бетона при увлажнении. На основании анализа моделей (1) и (2) можно сделать следующие основные выводы:

1. С использованием математического моделирования получены количественные оценки влияния основных технологических факторов на снижение прочности бетона при его увлажнении.

2. Наибольшее влияние на стойкость бетона по отношению к водонасыщению оказывает Ц/В и содержание комплексной добавки $\text{CaCl}_2 + \text{NaNO}_2$. Доля песка в смеси заполнителей, изменение количества примесей ракушки в морском песке до 20 % и наличие добавки С-3 до 0,6 % от массы цемента практически не влияет на этот показатель.

3. Средняя величина снижения прочности бетона без добавок при увлажнении составляет 8 % на каждый процент увеличения влажности при Ц/В=1,5 и уменьшается до 5 % при Ц/В=2,5.

4. Введение добавки $\text{CaCl}_2 + \text{NaNO}_2$ в количестве до 0,8 % от массы цемента положительно сказывается на стойкости бетона при увлажнении особенно при малых Ц/В. Дальнейшее увеличение количества добавки существенно снижает прочность бетона при увлажнении, причём тем больше, чем выше Ц/В.

5. При полном водопоглощении бетона после хранения в нормально-влажностных условиях снижение прочности тем больше, чем ниже Ц/В и достигает 20-22 % при Ц/В=1,5 против 6-8 % при Ц/В=2,5, что объясняется меньшей величиной водопоглощения бетона с высоким Ц/В.

Из анализа модели (2) следует, что бетон без добавки хлористого кальция ($x_2=-1$) снижает прочность на 21,5 % при Ц/В=1,5 и на 8-10 % при Ц/В=2,5.

При наличии комплексной добавки хлористого кальция и нитрита натрия в пределах до 0,8 % от массы цемента водонасыщение снижает прочность при Ц/В=1,5 на 17,5 %, а при Ц/В=2,5 водонасыщение снижает прочность на 7 %.

Литература

1. Мальцов К. А. Физические основы, влияния водоцементного отношения на прочность бетона. Известия ВНИИГ им. Веденеева, т.75, 1964.
2. Москвин В. М. и др. Деформация пропаренного бетона при длительном погружении. НИИЖБ. Структура, прочность и деформация бетона (материалы координационного совещания) М., 1972.
3. Мальцов К. А. Влияние водонасыщения на прочность бетона. Гидротехническое строительство, № 8, 1964.
4. Цискрели Г. Д. О сопротивлении бетона разрыву. Гидротехническое строительство, № 3, 1953.
5. Ребиндер П. А. Физико-механические исследования процессов деформирования твёрдых тел. Юбилейный сб. АН СССР, т. 1, 1947.
6. Миронов С.А., Лагойда А. В., Усов Б. А. Интенсификация твердения пропаренного бетона введением ускорителей твердения. Бетон и железобетон, № 3, 1973.
7. Мощанский Н. А. Об изменении прочности бетона при его водонасыщении. Гидротехническое строительство, № 10, 1956.