

УДК 539.376

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

К. С. Карапетян

О закономерностях изменения прочностных и деформативных свойств бетона во времени в условиях различной влажности среды

(Представлено чл.-корр. АН Армянской ССР Б. Л. Абрамяном 17/VII 1989)

Известно, что в нормальных влажностных условиях процесс твердения и упрочнения бетона во времени может длиться более двадцати лет. При низкой же влажности среды высыхание приводит к быстрому обезвоживанию и прекращению упрочнения бетона, а в дальнейшем к спаду прочности, иногда даже до уровня ниже достигнутого к месячному возрасту, т. е. проектной марки (<sup>1</sup>—<sup>2</sup>). Однако длительных опытов по исследованию этого в научном и практическом отношении важного вопроса пока проводилось мало. Учитывая это, автор исследовал изменение прочностных и деформативных свойств некоторых видов бетонов до возраста 21 год в различных влажностных условиях.

Исследования проведены: над двумя составами легкого бетона на литондной пемзе, на песке и щебне из литондной пемзы; над одним составом смешанного бетона на песке из литондной пемзы и базальтовом щебне и над одним составом тяжелого бетона на кварцевом песке и базальтовом щебне. В качестве вяжущего применен портландцемент марки 400. Составы бетонов приведены в табл. 1.

Испытывали кубики с ребром 20 см и цилиндрические образцы диаметром 14 см, высотой 60 см. Приготовление бетона производили вручную, а уплотнение—на виброплощадке при продолжительности вибрации 30 с. Образцы освобождали от форм через трое суток, после чего хранили в условиях следующих двух влажностных режимов:

1. первые три года во влажной камере при температуре  $T=17\pm 9^\circ\text{C}$  и относительной влажности среды  $P=92\pm 4\%$ , последующие 18 лет в обычных лабораторных условиях, где 7 лет  $T=21\pm 7^\circ\text{C}$ ,  $P=50\pm 10\%$ , а остальные 11 лет  $T=18\pm 5^\circ\text{C}$ ,  $P=60\pm 11\%$ . В этих условиях хранили все образцы, кроме некоторого количества образцов из бетона состава № 2 (табл. 1);

2. 28 суток во влажной камере, далее до возраста 10 лет в обычных лабораторных условиях ( $T=21\pm 7^\circ\text{C}$ ,  $P=50\pm 10\%$ ). В этих условиях хранили часть образцов из бетона состава № 2.

Образцы испытывали в возрасте 7, 28 суток; 3, 6, 15 месяцев; 3 года, 6, 10, 15 лет и 21 год. Загружение цилиндрических образцов производили ступенями по  $0,1 R_{цл}$  ( $R_{цл}$ —цилиндрическая прочность). На каждой ступени сжимающей нагрузки образец выдерживали 5 мин. После выдержки под нагрузкой  $0,5 R_{цл}$  образец разгружали, затем нагрузку вновь доводили до  $0,5 R_{цл}$  и далее, ступенями  $0,1 R_{цл}$ , до  $0,7$ — $0,8 R_{цл}$ , после чего измерители деформаций снимали и образец дово-

дили до разрушения. До возраста 10 лет в каждом возрасте из каждого состава бетона испытывали по три образца, а в возрасте 15 лет и 21 год — по два. Характеристики прочности всех бетонов, хранившихся в условиях режима I, приведены в табл. 2.

Таблица 1

Составы бетонов									
№ состава	Вид бетона	В Ц	Осадка конуса $\Sigma K_{30}$ для тяжелого и смешанного бетонов; $\Sigma K_{40}$ для легкого бетона, см	Расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона, кг				$\gamma_{\text{бет}}$ т/м <sup>3</sup>	
				Ц	П	Щ	В		
1	Легкий	1.11	1	233	463	752	261	1.72	
2	Легкий	0.95	1	295	454	708	280	1.74	
3	Смешанный	0.82	1	300	416	1146	246	2.18	
4	Тяжелый	0.68	1	264	749	1220	179	2.41	

Таблица 2

Характеристики прочности бетонов										
Характеристики прочности бетона	Характеристики в возрасте									
	7 сут.	28 сут.	3 мес.	6 мес.	15 мес.	3 года	6 лет	10 лет	15 лет	21 год

Бетон на литсианой пемзе, состав № 1

$R_{\text{т}}, \text{МПа}$	9.2	15.1	19.4	22.4	27.8	30.9	—	26.9	28.8	—
$R_{\text{цл}}, \text{МПа}$	7.4	14.2	18.8	20.9	25.2	26.3	24.3	23.5	23.2	21.9
$R_{\text{цл}}/R_{\text{к}}$	0.80	0.94	0.97	0.93	0.90	0.85	—	0.88	0.81	—
$R_{\text{к}}/R_{\text{к}}^{28}$	0.61	1.00	1.28	1.48	1.84	2.05	—	1.78	1.91	—
$R_{\text{цл}}/R_{\text{цл}}^{28}$	0.52	1.00	1.32	1.47	1.77	1.85	1.71	1.65	1.63	1.54

Бетон на литонидной пемзе, состав № 2

$R_{\text{т}}, \text{МПа}$	12.7	20.0	22.8	26.3	28.1	31.5	—	29.6	26.8	—
$R_{\text{цл}}, \text{МПа}$	10.3	16.4	17.8	21.5	23.6	26.1	25.9	24.9	24.1	23.7
$R_{\text{цл}}/R_{\text{к}}$	0.81	0.82	0.78	0.82	0.83	0.84	—	0.84	0.90	—
$R_{\text{к}}/R_{\text{к}}^{28}$	0.64	1.00	1.14	1.31	1.42	1.57	—	1.48	1.34	—
$R_{\text{цл}}/R_{\text{цл}}^{28}$	0.63	1.00	1.09	1.31	1.44	1.61	1.58	1.52	1.47	1.45

Смешанный бетон, состав № 3

$R_{\text{к}}, \text{МПа}$	14.1	20.3	25.5	31.0	37.5	34.5	—	32.9	33.6	—
$R_{\text{цл}}, \text{МПа}$	11.1	15.5	19.7	23.0	25.4	26.8	27.0	29.0	27.7	26.0
$R_{\text{цл}}/R_{\text{к}}$	0.76	0.76	0.77	0.74	0.68	0.78	—	0.88	0.83	—
$R_{\text{к}}/R_{\text{к}}^{28}$	0.70	1.00	1.26	1.53	1.85	1.70	—	1.62	1.66	—
$R_{\text{цл}}/R_{\text{цл}}^{28}$	0.71	1.00	1.27	1.49	1.64	1.73	1.74	1.88	1.79	1.68

Тяжелый бетон, состав № 4

$R_{\text{т}}, \text{МПа}$	14.3	19.6	26.1	29.6	35.2	34.0	—	32.3	—	—
$R_{\text{цл}}, \text{МПа}$	11.0	15.8	19.1	21.6	26.5	27.2	30.5	28.8	25.3	—
$R_{\text{цл}}/R_{\text{к}}$	0.77	0.80	0.73	0.73	0.75	0.80	—	0.89	—	—
$R_{\text{к}}/R_{\text{к}}^{28}$	0.73	1.00	1.33	1.51	1.80	1.74	—	1.64	—	—
$R_{\text{цл}}/R_{\text{цл}}^{28}$	0.70	1.00	1.21	1.37	1.68	1.72	1.93	1.82	1.60	—

По данным двух составов легких бетонов на литондной пемзе закономерности изменения их кубиковых и цилиндрических прочностей во времени вплоть до конца опытов качественно имеют одинаковый характер. Как правило, в течение 3-годового влажного хранения их прочности во времени нарастали с убывающей скоростью, а после этого через некоторое время в обычных лабораторных условиях начался длительный процесс разупрочнения, но в итоге значения  $R_k$  ( $R_k$  — кубиковая прочность) и  $R_{цил}$  сохранились существенно выше достигнутых к месячному возрасту. Все сказанное в полной мере относится и к остальным двум составам бетонов. Разница заключается лишь в том, что снижение их прочностей началось в более поздних возрастах.

Исследования показали, что при режиме 1 качественно аналогично происходит и изменение модулей деформаций исследованных бетонов во времени. Нарастание модулей деформаций бетонов на литондной пемзе во влажных условиях, а в дальнейшем их длительные спиды в обычных лабораторных условиях относительно больше, но все же конечные значения оказались несколько выше достигнутых к месячному возрасту. Выше месячного сохранилось и конечное значение модуля деформации тяжелого бетона, а что касается модуля деформации смешанного бетона, то в этом случае спад начался еще до возраста 3 года и по этой причине уже к возрасту 15 лет его значение до уровня напряжения 0,25 оказалось ниже достигнутого к месячному возрасту.

Как уже отмечали, часть образцов из бетона на литондной пемзе состава № 2 хранили в условиях режима 2, т. е. до месячного возраста во влажных условиях, а в дальнейшем до возраста 10 лет в обычных лабораторных условиях. Результаты этих опытов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Характеристики прочности и модули деформации бетона

Характеристики бетона	Характеристики в возрасте						
	7 сут.	28 сут.	3 мес.	6 мес.	15 мес.	3 года	10 лет
$R_{к2}$ , МПа	12,7	20,0	22,0	23,3	—	—	12,8
$R_{цил}$ , МПа	10,3	16,4	17,7	19,9	20,1	17,6	9,1
$R_{цил}/R_k$	0,81	0,82	0,81	0,85	—	—	0,71
$R_k/R_{цил}^{28}$	0,64	1,00	1,10	1,17	—	—	0,64
$R_{цил}/R_{цил}^{28}$	0,63	1,00	1,08	1,22	1,23	1,05	0,56
$E_{кас} \times 10^{-2}$ , МПа (з $R_{цил}=0$ )	103	117	123	120	104	88	69
$E_{кас} \times 10^{-2}$ , МПа (з $R_{цил}=0,25$ )	77	91	108	104	98	82	60
$E_{кас} \times 10^{-2}$ , МПа (з $R_{цил}=0,50$ )	54	69	91	92	92	76	52

По данным табл. 3 понижение влажности среды после месячного влажного хранения привело к замедлению интенсивности роста как прочности, так и модуля деформации, а в дальнейшем к длительному процессу их деградации, и в итоге в возрасте 10 лет их конечные значения оказались существенно ниже достигнутых к месячному возрасту. Из сравнения данных табл. 2 и 3 следует, что в возрасте 10 лет  $R_k$  и  $R_{цил}$  бетона на литондной пемзе состава 2 при режиме 2 соответственно в 2,3 и 2,7 раза меньше, чем при режиме 1.

Данные табл. 2 и 3 приводят к выводу, что в условиях сухого жаркого климата некоторых районов Армянской ССР, где влажность среды в летние месяцы снижается до 15–20%, в результате высыхания конечная прочность бетона может оказаться еще более ниже проектной, чем это получилось в наших опытах (табл. 3).

Спитакское землетрясение (7 декабря 1988 г.) вызвало массовые разрушения зданий и сооружений в городах и селах северо-западных районов Армянской ССР. По мнению авторитетных специалистов помимо силы землетрясения, которая превышала расчетную балльность, причиной столь массовых разрушений явилось также низкое качество строительных работ. Отмечены случаи низкой прочности бетонов железобетонных конструкций, которые оказались в 3–4 раза ниже проектных; причиной этого считается невведение в бетон нужного количества цемента.

Конечно, никто не может отрицать, что в процессе строительства допускалось, да и сейчас допускается, множество технологических нарушений. Но самым серьезным вопросом остается—почему же спустя много лет после строительства прочности бетонов железобетонных конструкций разрушенных зданий оказались существенно ниже проектных? На основании результатов вышеописанных длительных опытов можно утверждать, что изготовители железобетонных сборных элементов не могли допустить введение в бетон значительно меньше цемента, чем требовалось расчетом, так как эти элементы тут же на заводе ЖБК разрушились бы под собственным весом при погрузке для транспортирования к месту назначения. Кроме того существует строго установленная отпускная прочность для бетонов сборных железобетонных элементов (70% от проектной), ниже которой заводы ЖБК не имеют права отпускать их потребителю. Мы не исключаем, что эти требования иногда в известной мере нарушались и невведением в бетон нужного количества цемента, но в такой мере, чтобы конечная прочность оказалась в 3–4 раза ниже проектной, вряд ли могло иметь место, так как в таком случае последствия сразу же дали бы о себе знать.

На основании вышеописанных длительных опытов можно с уверенностью утверждать, что прочности бетонов железобетонных элементов в момент их отпуска из заводов ЖБК не могут быть существенно ниже отпускных, а следовательно, снижение прочностей происходит в основном в процессе строительства объектов при низкой влажности среды. Существенное отрицательное влияние низкой влажности среды на прочность бетонов, а следовательно на несущую способность железобетонных конструкций, требует разработки и осуществления необходимых мероприятий для их защиты от высыхания. С этой же целью необходимо максимально сократить сроки строительства объектов. В тех случаях, когда выполнение этих мероприятий связано с большими трудностями, в районах, где влажность среды низкая, проектировать и строить железобетонные конструкции зданий и сооружений следует с более высокими запасами.

Институт механики Академии наук  
Армянской ССР

**Միջավայրի տարբեր խոնավային պայմաններում բետոնի ամրության և դեֆորմացիաների հետազոտումը ժամանակի ընթացքում**

Աշխատանքում բերվում են տարբեր խոնավային պայմաններում բետոնի ամրության և դեֆորմացիաների հետազոտման արդյունքները 21 տարվա ընթացքում: Հաստատված է, որ անկախ սկզբնական նորմալ խոնավային պայմաններում պահելու տևողությունից, բետոնի հետագա ջրազրկումը ցածր խոնավության դեպքում բերում է նրա ամրության և դեֆորմացիաների մոդուլների էական փոքրացմանը, որի հետևանքով նրանց վերջնական մեծությունները կարող են շատ ավելի ցածր լինել նախազժայինից: Առաջարկվում է շոր կլիմայական պայմաններում կրճատել շինարարության ժամկետները և երկաթբետոնյա կոնստրուկցիաները պաշտպանել շորացումից կամ նախազժել ավելի բարձր պաշարով և հետազոտում ապահովել նրանց նորմալ ամրացումը:

**ЛИТЕРАТУРА—ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ**

- <sup>1</sup> Я. В. Столяров, Введение в теорию железобетона, Стройиздат, М.—Л., 1941.  
<sup>2</sup> М. З. Симонов, Основы технологии легких бетонов, Стройиздат, М., 1973.