

УДК 531.539.376

ВЛИЯНИЕ ДЕСОРБЦИИ ХИМИЧЕСКИ НЕСВЯЗАННОЙ  
ВОДЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БЕТОНА ПРИ  
КРАТКОВРЕМЕННЫХ СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Карапетян К. А.

Կ. Ա. Կարապետյան

Քիմիապես չկապված ջրի դեսորբցիայի ազդեցությունը բետոնի մեխանիկական հատկությունների վրա կարճատև բեռնավորումների դեպքում

Հետազոտված է խոնավության դեսորբցիայի ազդեցությունը 63 ամիս տևողությամբ հիդրոնկուսացված վիճակում պահված լիթոնոմոլիտային ամրության և դեֆորմատիվ հատկությունների վրա միաատևյալ ձգող և սեղմող ուժային գործոնների կարճատև ազդեցությունների դեպքում:

Ստացված է, որ խոնավության դեսորբցիան, գործնականում, չազդելով բետոնի ձգման ամրության վրա, բերում է սեղմման ամրության նվազմանը, ինչպես նաև մշամ բեռնավորումների դեպքում բետոնի դեֆորմացվելու հատկության էական մեծացմանը:

K. A. Karapetyan

Effect of Desorption of Chemically Inconnected Water on Mechanical Properties of Concrete under Shorttime Loadings

Исследовано влияние десорбции влаги на прочность и деформативные свойства литондомобетона, хранящегося в гидроизолированном состоянии в течение 63 месяцев при кратковременных силовых воздействиях.

Получено, что десорбция влаги, практически не влияя на прочность при растяжении, приводит к существенному снижению прочности на сжатие и увеличению способности бетона к деформированию в обоих случаях.

Известно, что при вызревании бетона в условиях невысокой влажности среды (ниже 75%, [1]) интенсивность процесса гидратации цементных зерен не высока и он может преждевременно прекратиться [2-6 и др.]. Чем меньше влажность среды, тем раньше останавливается процесс твердения, при этом одновременно имеют место следующие явления, которые могут оказаться причиной частичной потери прочности бетона:

– возникновение внутренних напряжений в результате неодинаковой усадки цементного камня и крупного заполнителя и возможное микротрещинообразование;

– образование пустот (дефектов) вследствие десорбции химически несвязанной (свободной) воды, накопленной в бетоне в результате технологически требуемого для приготовления смеси избытка воды [7].

Изменения механических свойств бетонов, обусловленные только последним фактором, могут оказаться существенными [8], причем однозначного мнения об этих изменениях по известным нам работам составить невозможно.

В данной работе приводятся результаты экспериментального исследования деформативных и прочностных свойств бетона при одноосном растяжении и сжатии с учетом его влагосодержания и ориентации слоев укладки бетона по отношению к направлению действия нагрузки.

Эксперименты были поставлены на цилиндрических образцах с диаметром 5,5 см и высотой 18 см, выбуренных из исходных литоиднемзобетонных призм и восьмерок с сечением 10×10 см, высотой соответственно 40 и 60 см. Одна часть исходных элементов была бетонирована в вертикальном положении, а другая часть — в горизонтальном. После освобождения от форм призмы и восьмерки сразу гидроизолировались и в течение 63 мес. (до выбуривания из них опытных цилиндрических образцов) хранились в лабораторном помещении.

Был использован вибрированный легкий бетон состава в массе 1:1,513:2,368,  $V/C=0,88$ ,  $C=310 \text{ кг/м}^3$ . Для приготовления бетона применялись песок ( $\gamma_n=1050 \text{ кг/м}^3$ ), щебень ( $\gamma_{ш}=851 \text{ кг/м}^3$ ) с фракцией 5-30 мм из литоидной пемзы, взятой из карьера Джрабер (Республика Армения), и портландцемент активностью 38 МПа из Араратского цементно-шиферного завода.

Кратковременные испытания, осуществленные согласно методике, описанной в работе [9], были проведены сразу после выбуривания опытных цилиндрических образцов, а также после подвержения их десорбции влаги (высыхания) в лабораторном помещении в течение определенного количества дней. Аналогичным образом были проведены эксперименты на кубических образцах с ребром 10 см, изготовленных из того же состава литоиднемзобетона. Повторность опытов в каждом случае была принята 3-5 кратной. При этом максимальный разброс показателей измеренных механических характеристик по отношению к их среднему арифметическому значению при испытании 3-х образцов составил +4,8 и -6,8%, а величина коэффициента вариации при испытании 5 образцов -  $\pm 0,05$ . Температура лабораторного помещения в период проведения экспериментов составляла  $21 \pm 4^\circ\text{C}$ , а относительная влажность -  $64 \pm 7\%$ .

Полученные экспериментальные результаты представлены в табл. 1 и 2 и на фиг. 1 и 2. Часть результатов, относящихся к прочности и модулю деформации литоиднемзобетона, в случае сжатия была опубликована в работе [10].

По проведенным измерениям влажность  $W$  литоиднемзобетона в возрасте 28 сут. составляла 11,8%. Согласно расчетам, проведенным по данным работы [7], в случае надежной гидроизоляции влажность бетона в возрасте 63 мес. должна была составлять приблизительно 10,8%. По данным же табл. 1 в указанном возрасте влажность цилиндрических образцов, выбуренных из исходных элементов по направлениям перпендикулярном (ПЕС) и параллельном (ПАС) по отношению к слоям укладки бетона, составляла соответственно 9,6 и 10,2%, что свидетельствует о не очень надежной гидроизоляции.

Согласно результатам, приведенным в табл. 1, изменения показателей прочности на одноосное растяжение старого литоиднемзобетона в зависимости от степени его влагосодержания практически не наблюдаются независимо от направления действия нагрузки по отношению к слоям укладки бетона.

В случае же сжатия с уменьшением влажности вследствие десорбции влаги имеет место монотонный спад прочности как кубических, так и цилиндрических опытных образцов (табл. 1). В итоге, при уменьшении начальной влажности опытных цилиндрических образцов ПЕС и ПАС соответственно на 5,6 и 4,7% (через 63 мес. высыхания) величина спада прочности составляет соответственно 28 и 16%. Упомянутая разница прочности для кубических образцов составляет приблизительно 21%.

Таблица 1

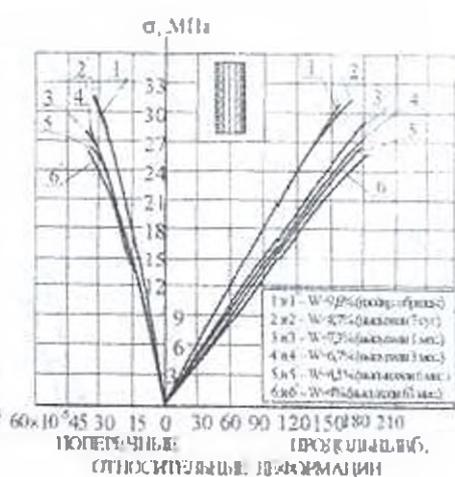
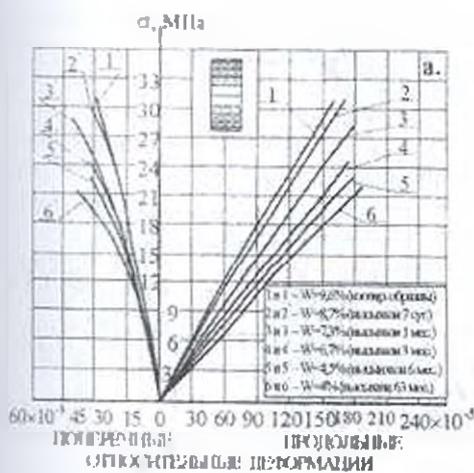
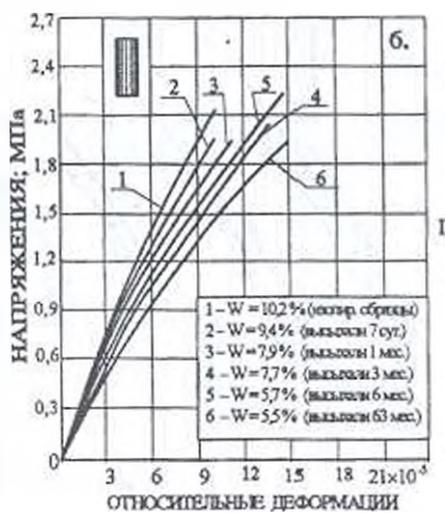
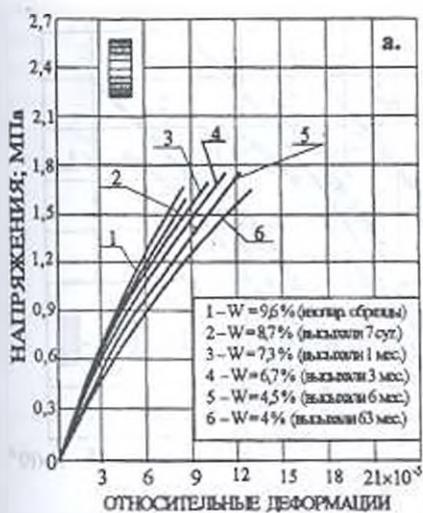
Продолжительность процесса десорбции влаги	Направление нагрузки по отношению к слоям бетонирования	Влажность цилиндрических образцов W, %	Прочность, МПа			Отношение прочности образцов, подвергнутых десорбции влаги, к прочности изолированных	
			Кубических образцов	Цилиндрических образцов			
					При растяжении	При сжатии	При растяжении
0	перпенд.	9,6	-	2,10	38,9	1,00	1,00
	паралл.	10,2	42,2	2,66	39,0	1,00	1,00
7 сут.	перпенд.	8,7	-	2,00	38,6	0,95	0,99
	паралл.	9,4	42,3	2,50	39,2	0,94	1,01
1 мес.	перпенд.	7,3	-	2,10	35,6	1,00	0,92
	паралл.	7,9	39,1	2,50	36,9	0,94	0,95
3 мес.	перпенд.	6,7	-	2,19	31,2	1,04	0,80
	паралл.	7,7	37,8	2,60	34,4	0,98	0,88
6 мес.	перпенд.	4,5	-	2,20	29,0	1,05	0,75
	паралл.	5,7	36,2	2,77	33,3	1,04	0,85
63 мес.	перпенд.	4,0	-	2,07	27,9	0,99	0,72
	паралл.	5,5	33,4	2,59	32,9	0,97	0,84

Из графиков, приведенных на фиг.1, следует, что уменьшение влажности оказывает существенное влияние на деформативность старого литодиемзобетона как в случае одноосного растяжения, так и при сжатии: по мере уменьшения влажности имеет место существенное увеличение способности образцов к деформированию в обоих рассматриваемых случаях ориентации слоев укладки бетона по отношению к направлению действия нагрузки.

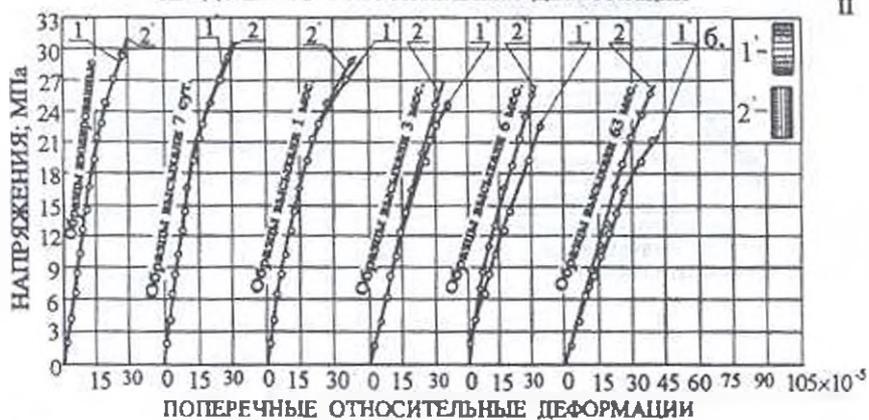
По графикам, приведенным на фиг. 2.1, в случае одноосного растяжения кривая продольных деформаций образцов ПАС (кривая 2) всегда проходит выше кривой деформации образцов ПЕС (кривая 1). Уменьшение начальной влажности опытных образцов ПЕС и ПАС на 2,9 и 2,5% соответственно (продолжительность процесса десорбции влаги — 3 мес.) приводит к некоторому их сближению. При дальнейшем уменьшении степени влажности бетона указанные кривые снова расходятся.

Согласно фиг. 2.11 в случае сжатия кривые как продольных, так и поперечных деформаций гидроизолированных образцов ПЕС и ПАС почти сливаются. С уменьшением степени влажности бетона имеет место все большее расхождение этих кривых. Из этой же фигуры также можно заключить, что влияние десорбции влаги на продольные и поперечные деформации в случае образцов ПЕС более существенно, чем в случае образцов ПАС.

Приведенные в табл.2 значения касательного модуля деформации при различных уровнях относительного напряжения  $\sigma/R$  ( $R$  — предел прочности опытных образцов) дают более ясное количественное представление о влиянии влагосодержания на способность бетона к деформированию при кратковременных силовых воздействиях.



Фиг. 1. Кривые деформаций литоидемзобетонных образцов ПЭС (а) и ПАС (б) при одноосном растяжении (I) и сжатии (II).



Фиг. 2. Кривые деформаций литоидпемзобетонных образцов ПЭС (1) и ПАС (2) при одноосном растяжении (продольные) I и сжатии (продольные и поперечные) II.

Таблица 2

Продолжительность процесса десорбции влаги	Направление нагрузки по отношению к слоям бестоирования	Модуль деформации по касательной $\times 10^{-2}$ в МПа при относительном напряжении $\sigma/R$								Отношение модуля деформации образцов, подвергнутых десорбции влаги к модулю деформации изолированных образцов при относительном напряжении $\sigma/R$							
		при растяжении				при сжатии				при растяжении				при сжатии			
		0	0.25	0.5	0.75	0	0.25	0.5	0.75	0	0.25	0.5	0.75	0	0.25	0.5	0.75
0	перпенд.	271	226	184	147	217	203	190	177	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
	паралл.	319	251	192	140	215	204	194	184	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
7 сут.	перпенд.	258	215	176	140	201	188	176	164	0.95	0.95	0.96	0.95	0.93	0.93	0.93	0.93
	паралл.	294	230	174	126	208	200	192	184	0.92	0.92	0.91	0.90	0.97	0.98	0.99	1.00
1 мес.	перпенд.	244	202	164	130	171	165	159	154	0.90	0.89	0.89	0.88	0.79	0.81	0.84	0.87
	паралл.	281	220	167	121	176	168	161	153	0.88	0.88	0.87	0.86	0.82	0.82	0.83	0.83
3 мес.	перпенд.	222	186	153	123	148	143	138	133	0.82	0.82	0.83	0.84	0.68	0.70	0.73	0.75
	паралл.	236	187	144	106	164	159	154	150	0.74	0.74	0.75	0.76	0.76	0.78	0.79	0.82
6 мес.	перпенд.	206	171	138	110	139	134	128	123	0.76	0.76	0.75	0.75	0.64	0.66	0.67	0.69
	паралл.	234	185	142	105	163	156	149	142	0.73	0.74	0.74	0.75	0.76	0.76	0.77	0.77
63 мес.	перпенд.	178	147	120	95	131	123	116	108	0.66	0.65	0.65	0.65	0.60	0.61	0.61	0.61
	паралл.	212	169	131	97	158	148	138	129	0.66	0.67	0.68	0.69	0.73	0.73	0.71	0.70

Согласно данным этой таблицы, с момента начала процесса десорбции влаги наблюдается монотонное уменьшение показателя модуля деформации старого литоидпемзобетона, которое при обоих рассматриваемых видах нагружения практически не зависит от уровня приложенного относительного напряжения. В случае одноосного растяжения упомянутый спад модуля деформации практически не зависит также от направления действия нагрузки по отношению к слоям укладки бетона, в то время как при сжатии указанный спад более существенен в направлении, перпендикулярном к слоям бетонирования.

По данным табл. 2 уменьшение начальной влажности литоидпемзобетонных образцов ПЭС и ПАС соответственно на 5,6 и 4,7% (через 63 мес. высыхания) в случае растяжения приводит практически к одинаковому уменьшению значений модуля деформации на 31-35%, а при сжатии — на 39-40% и 27-30% соответственно для образцов ПЭС и ПАС.

Таким образом, уменьшение степени влажности вследствие десорбции влаги из пор и капилляров литоидпемзобетона, вызревавшего в течение многих лет в благоприятных для нарастания прочности условиях (в гидроизолированном состоянии), практически не влияя на прочность при растяжении, приводит к существенному снижению его прочности на сжатие и увеличению способности к деформированию в обоих рассматриваемых видах нагружения. При этом обусловленность указанных изменений механических свойств бетона, образованием микротрещин практически исключается, поскольку при растяжении микротрещины должны были привести к спаду прочности, что не наблюдалось (табл. 1).

Наблюдаемые изменения механических свойств литоидпемзобетона при сжатии можно объяснить, в основном, уменьшением фактического рабочего сечения бетонного элемента вследствие удаления свободной воды из его пор и капилляров. В связи с этим, следует отметить, что наличие свободной воды в порах и капиллярах бетона играет положительную роль, так как при действии внешней сжимающей нагрузки вода принимает на себя определенное усилие, тем самым способствуя облегчению объемного напряженного состояния бетона [11;12].

Увеличение способности старого литоидпемзобетона, вследствие десорбции влаги, к деформированию при растяжении, вероятно, обусловлено внутренними растягивающими напряжениями, возникающими в результате неодинаковой усадки затвердевшего цементного камня и крупного заполнителя.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные нормы и правила. Часть II. Нормы проектирования. Глава 21. Бетонные и железобетонные конструкции. (СНиП 2.03.01-84). М.: Стройиздат, 1998. 77с.
2. Цискреди Г.Д. О сопротивлении бетона разрыву. // Гидротехническое строительство, 1953. №3. С. 16-19.
3. Худавердян В.М. О некоторых свойствах летнего бетона. /В сб.: Труды совещания по теории технологии бетонов. Ереван. Изд. АН АрмССР, 1956. С.287-304.
4. Михайлов А.И. В. Прочность бетона в зависимости от его влагосодержания. // Бетон и железобетон, 1974. №2. С.19.

5. Kasai Yoshio, Matui Isamu. Studies on concrete strenght of structure in Japan. // Qual. Contr. Concr. Struct RIZEM. Symp., Stockholm, 1979. Prepr. vol.1. Stockholm, 1979, p. 89-96.
6. Карапетян К.С. О закономерностях изменения прочностных и деформативных свойств бетона во времени в условиях различной влажности среды. // Докл. АН Арм. ССР. 1990. Т.90. №17 С.29-33.
7. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов. М.: Изд. лит. по строительству, 1973. 584с.
8. Басевич А.З. Массивные гидротехнические сооружения с искусственным обжатием бетона. Л.—М.: ГИЗ лит. по строит. и архит. 1957. 199с.
9. Карапетян К.С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии и растяжении в зависимости от масштабного фактора. // Изв. АН Арм. ССР. Сер. физ.-мат. наук. 1964. Т.17. №4. С.71 — 90.
10. Карапетян К.С., Карапетян К.А. Влияние высыхания на анизотропию прочности и модуль деформации бетона. В кн.: Тсоретична и приложна механика. Варна, 1981, Докл. Кн.1. София: Издательство Българската Академия На Наукате. 1981. с.262-267.
11. Элбакидзе М. Г., Июльман Э.Р., Енукашвили И.Р. Влияние водонасыщения бетона на его прочность и деформативность. Тр. координац. совещ. по гидротехнике, 1971. Вып. 68. С.97-102.
12. Карапетян К.С. О вторичном твердении и изменении анизотропных свойств бетона при водонасыщении. // Докл. АН Арм. ССР. 1973. Т.57. №3. С.158-166.

Институт механики  
НАН Армении

Поступила в редакцию  
10.06.2004