

К. С. КАРАПЕТЯН, К. А. КАРАПЕТЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТИ, МОДУЛЯ ДЕФОРМАЦИИ И СТЕПЕНИ АНИЗОТРОПИИ ВЕСЬМА СТАРОГО ТУФОБЕТОНА ПРИ СЖАТИИ ВСЛЕДСТВИЕ ВОДОНАСЫЩЕНИЯ И ВЫСЫХАНИЯ

В работах [5, 6] К. С. Карапетяна впервые было установлено, что бетон по прочности, модулю деформации и деформациям ползучести при сжатии является существенно анизотропным материалом. Дальнейшие многолетние исследования показали, что степень анизотропии бетона по прочности, модулю деформации и деформациям ползучести как при сжатии, так и при растяжении зависит от многочисленных факторов: величины напряжения, размеров поперечного сечения и высоты образца, расхода цемента, влажности среды, продолжительности вибрации бетонной смеси, крупности заполнителя, возраста к моменту испытания и др. [7—14]. Эти исследования полностью подтвердили гипотезу К. С. Карапетяна о причинах анизотропии бетона [5, 6]. Согласно гипотезе автора, причиной анизотропии являются водные прослойки, которые неизбежно образуются под частицами заполнителя в результате внутреннего расслаивания бетона при его укладке и уплотнении. При испарении этих прослоек на их местах остаются пустоты (дефекты), которые ослабляют сечение бетонного элемента и снижают его прочность, увеличивают деформации. Отрицательное влияние дефектов более существенно в том случае, когда призмы испытываются перпендикулярно слоям бетонирования, так как в этом случае ослабление сечения образца дефектами получается наибольшее.

При высокой же влажности среды и особенно в изолированных образцах, когда испарение не имеет места и водные прослойки сохраняются, последние играют положительную роль. Водные прослойки принимают участие в восприятии внешней нагрузки, способствуя работе всего сечения бетонного элемента и улучшению объемно-напряженного состояния.

Специально поставленные К. С. Карапетяном опыты для исследования анизотропных свойств бетона в зависимости от влажности среды показали, что в случае изолированных от влагопотери образцов прочность призм, испытанных перпендикулярно слоям, гораздо больше, а деформации при кратковременном и длительном нагружении меньше, чем призм, испытанных параллельно слоям. Удаление изоляции и в свя-

зи с этим испарение и исчезновение водных прослоек приводило к обратному явлению [9].

Для подтверждения своей гипотезы о причинах анизотропии бетона К. С. Карапетяном были поставлены и обратные опыты [15]. При этом он считал, что если испарение приводит к снижению прочности и увеличению деформаций, то водонасыщение сухого бетона логически должно привести к заполнению пустот (дефектов) водой и благодаря восстановлению водных прослоек к росту прочности и уменьшению деформаций, а вместе с этим и к уменьшению степени анизотропии бетона. Опыты полностью подтвердили гипотезу автора. Таким образом, было установлено, что восстановление водных прослоек играет весьма важную роль в повышении прочности и в уменьшении деформаций бетона при сжатии, а вызванное испарением исчезновение водных прослоек, наоборот, приводит к снижению прочности и увеличению деформаций.

Опыты К. С. Карапетяна хотя и дали возможность обнаружить эффект водных прослоек, но они были недостаточными, чтобы количественно оценить роль восстановления и испарения водных прослоек в общем явлении. При этом мы имеем в виду, что опыты были поставлены на сравнительно нестаром бетоне и поэтому наблюдаемое изменение физико-механических и анизотропных свойств бетона при водонасыщении и высыхании являлось результатом наложения одновременно проявляющихся нескольких эффектов.

Учитывая это, авторы по специальной методике поставили две серии новых опытов для исследования влияния водонасыщения и высыхания на прочность и деформации бетона при сжатии с учетом анизотропии, результаты которых и приводятся в данной работе.

§ 1. Методика опытов

При водонасыщении сухого бетона его прочность на сжатие изменяется за счет одновременно проявляющихся трех эффектов. С начала же обводнения прочность бетона снижается за счет адсорбционных явлений, а в дальнейшем происходит упрочнение, вызванное возобновлением процесса твердения (вторичное твердение) и восстановлением водных прослоек в связи с заполнением пустот (дефектов) водой. При этом количественное влияние каждого из этих эффектов зависит от различных факторов и при соответствующих условиях каждый из них может оказаться определяющим в прочности бетона. Поэтому для оценки роли эффекта водных прослоек опыты необходимо было поставить по такой методике, которая дала бы возможность максимально уменьшить влияние других эффектов. Учитывая это, опыты были поставлены нами над весьма старым сухим бетоном, так как в этом случае упрочнение за счет вторичного твердения практически исключается и поэтому вызванный водонасыщением прирост прочности в основном будет обусловлен эффектом водных прослоек.

Оценить роль эффекта водных прослоек можно и обратными опытами, то есть путем исследования влияния высыхания на прочность бетона. В этом случае также опыты следует поставить над весьма старым бетоном с той лишь разницей, что с момента изготовления бетонный элемент должен быть изолирован от влагопотери. В условиях длительной изоляции бетонный элемент имеет возможность нормально твердеть и приобрести максимально возможную прочность и если спустя много лет изоляцию удалить, то это приведет к испарению и исчезновению водных прослоек и тем самым к спаду прочности.

На основании вышесказанного нами были поставлены опыты как с водонасыщенными, так и с высыхающими образцами. Результаты обеих серий опытов, как будет показано, дают возможность более обоснованно судить о количественном влиянии водных прослоек на прочность, деформативность и степень анизотропии бетона.

Испытанию подвергались цилиндрические образцы диаметром 5,5 см, высотой 16,5 см, которые выбуривались в двух взаимно перпендикулярных направлениях из бетонного элемента. В качестве таких элементов использовали большие цилиндрические образцы (диаметром 25 см, высотой 60 см), которые были изготовлены в 1954 г. из туфобетона состава в массе 1:1,80:2,25, В/Ц = 1,43, Ц = 261 кг/м³. Сразу после распалубки часть больших цилиндров была изолирована от влагопотери и хранилась вместе с неизоллированными образцами до момента выбуривания из них малых цилиндрических образцов в возрасте 23 лет в обычных лабораторных условиях. В этих же условиях проводились опыты по исследованию влияния водонасыщения и высыхания на прочность и деформативность на малых цилиндрических образцах, выбуренных из неизоллированных и изолированных больших цилиндров.

Для краткости дальнейшего изложения впредь под условным обозначением ПЭС мы будем иметь в виду те образцы, которые испытывались перпендикулярно слоям бетонирования, а ПАС—образцы, которые испытывались параллельно слоям бетонирования.

При испытании образцов сжимающая нагрузка повышалась ступенями и после каждой ступени измерялись продольные и поперечные деформации. Под каждой ступенью нагрузки образец выдерживался лишь на время, необходимое для взятия отсчетов по приборам, измеряющим деформации. В опытах первой серии испытывались контрольные сухие образцы и водонасыщенные образцы после водного хранения 1, 3, 7, 30 сут. и 3 мес. В опытах же второй серии испытывались контрольные изолированные образцы (сразу после выбуривания) и образцы после высыхания 7 сут., а также 1, 3 и 6 мес. Ввиду ограниченного количества образцов в каждом случае испытывались по 2—3 образца. В опытах с водонасыщенными образцами максимальный разброс при испытании 2-х образцов составил $\pm 4,6\%$, а 3-х образцов — $+4,8$ и $-4,8\%$. В опытах же с высыхающими образцами максимальный разброс при испытании 2-х образцов составил $\pm 4,8\%$, а при испытании 3-х образцов — $+4,5$ и $-5,1\%$.

§ 2. Влияние водонасыщения на прочность, деформации (продольные и поперечные) и степень анизотропии туфобетона

Цилиндрические прочности исследованного туфобетона по данным испытаний образцов перпендикулярно (ПЕС) и параллельно (ПАС) слоям бетонирования после различных сроков водного хранения приведены в табл. 1. Как видим, независимо от того, испытываются образцы перпендикулярно слоям (ПЕС) или параллельно слоям (ПАС), сначала водное хранение приводит к адсорбционному спаду прочности бетона, а в дальнейшем — к устойчивому существенному упрочнению.

По данным табл. 1 после суточного водного хранения прочности образцов ПЕС и ПАС снизились соответственно на 4% и 14%, а к 3-м месяцам существенно возросли и уже на 49% и 18% превышают прочности соответствующих контрольных сухих образцов. При этом полностью перекрыты и адсорбционные спады прочности указанных образцов.

Таблица 1
Влияние водонасыщения на прочность туфобетона и степень его анизотропии по прочности

Условия хранения образцов	Направление сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетона при испытании	% влагопоглощения по массе сухого бетона	Цилиндрическая прочность в МПа	Отношение прочности водонасыщенных образцов к прочности сухих образцов	Отношение прочности образцов ПАС к прочности образцов ПЕС
Образцы сухие	перпен.	0	13.6	1.00	1.21
	парал.	0	16.4	1.00	
1 сут в воде	перпен.	14.9	13.1	0.96	1.08
	парал.	13.9	14.1	0.86	
3 сут в воде	перпен.	15.8	14.1	1.04	1.08
	парал.	15.0	15.2	0.93	
7 сут в воде	перпен.	17.4	17.3	1.27	0.95
	парал.	16.0	16.4	1.00	
30 сут в воде	перпен.	18.9	18.6	1.37	0.95
	парал.	17.5	17.7	1.08	
3 мес в воде	перпен.	19.4	20.2	1.49	0.96
	парал.	18.2	19.4	1.18	

О важной положительной роли эффекта восстановления водных прослоек в упрочнении бетона в результате его водонасыщения свидетельствует тот факт, что в наших опытах до обводнения прочность образцов ПЕС была меньше прочности образцов ПАС, а начиная с 7 сут. водного хранения и в последующем до конца опытов имеет место обратное явление. Это говорит о том, что положительный эффект восста-

новленных водных прослоек для образцов ПЕС оказался более существенным, чем для образцов ПАС. Аналогичное явление наблюдалось и в работах [15, 16].

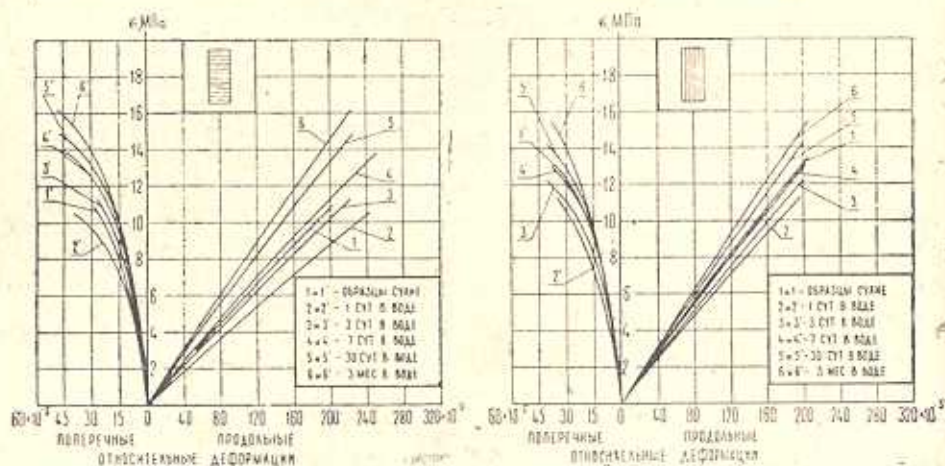
Конечно, наблюдаемый в наших опытах после суточного водного хранения спад прочности образцов ПЕС и ПАС не представляет полный адсорбционный спад прочности. В действительности адсорбционное понижение прочности было значительно больше, но так как водонасыщение в течение первых суток оказалось весьма значительным (до 77% от общего водопоглощения), то часть понижения прочности уже была компенсирована положительным эффектом восстановленных водных прослоек. Эти опыты наглядно показывают ту важную роль, которую играют восстановленные водные прослойки в упрочнении бетона и одновременно еще раз подтверждают справедливость гипотезы К. С. Карапетяна о причинах анизотропии бетона.

Различное количественное влияние водонасыщения на цилиндрическую прочность образцов ПЕС и ПАС привело к существенному изменению степени анизотропии бетона по прочности. Коэффициент анизотропии бетона по прочности $K_1 = R'_w/R'_u$ (где R'_u и R'_w — соответственно прочности образцов ПЕС и ПАС), который для сухих образцов составляет 1.21 на 7 сут. водного хранения, снизился до значения 0.95 и в дальнейшем практически оставался неизменным. $K_1 = 0.95$ означает, что в результате водного хранения туфобетон по цилиндрической прочности практически стал изотропным.

Рассмотрим теперь, как влияет водонасыщение на продольные и поперечные деформации образцов ПЕС и ПАС (фиг. 1). Как видим, независимо от направления сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования, водное хранение через сутки привело к существенному увеличению как продольных, так и поперечных деформаций, а в дальнейшем — к их заметному уменьшению. Из этих графиков ясно видно, что после суточного водного хранения с увеличением продолжительности водного хранения кривые продольных и поперечных деформаций образцов ПЕС и ПАС все больше приближаются к осям напряжений. В итоге кривые деформаций образцов, которые соответствуют водному хранению 3 мес., уже проходят заметно выше соответствующих кривых деформаций контрольных сухих образцов.

Для получения более ясного количественного представления о влиянии водонасыщения на деформации бетона рассмотрим данные табл. 2, где приведены касательные модули деформации и поперечные деформации при различных напряжениях. По этим данным влияние водонасыщения на модуль деформации качественно имеет тот же характер, что и влияние водонасыщения на цилиндрическую прочность бетона. После суточного водного хранения модуль деформации также снижается, причем более чувствительно, чем прочность бетона. При этом, адсорбционный спад модуля деформации образцов ПЕС несколько больше, чем образцов ПАС и зависит от величины сжимающего напряжения: с увеличением напряжения спад модуля деформации образцов ПЕС

увеличивается, а образцов ПАС — уменьшается. После адсорбционного спада модуля деформации дальнейшее водное хранение уже приводит к устойчивому росту модуля деформации во времени и через 3 мес., в зависимости от величины сжимающего напряжения, модуль деформации водонасыщенных образцов ПЕС на 37—39%, а образцов ПАС на 4—24% превышает модуль деформации соответствующих контрольных сухих образцов. При этом полностью перекрыты и начальные адсорбционные спады модулей деформаций указанных образцов.



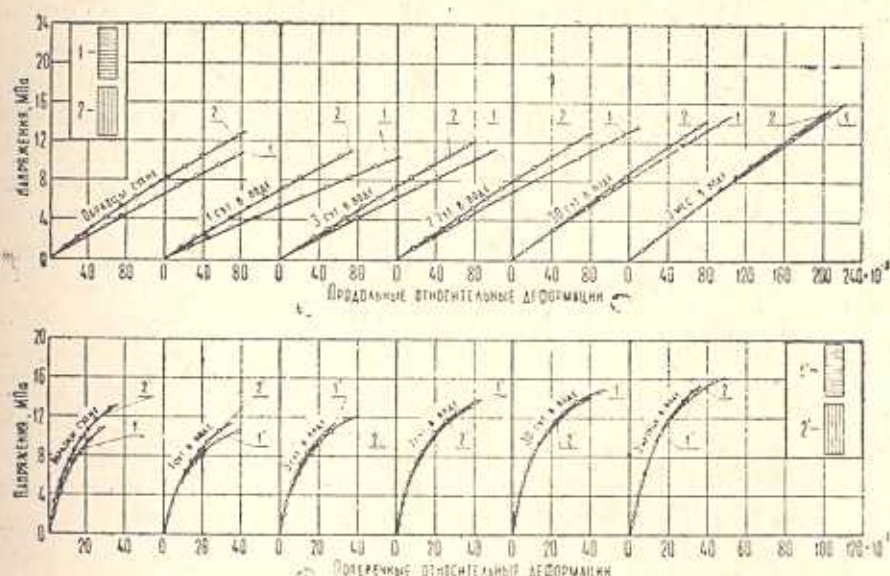
Фиг. 1. Влияние водонасыщения на деформации туфобетона.

Как видно из табл. 2, до обводнения модуль деформации образцов ПЕС был заметно меньше модуля деформации образцов ПАС, а после 3-х мес. водного хранения они уже практически равны друг другу. Таким образом, в полном соответствии с закономерностью влияния водонасыщения на прочность бетона, в процессе водного хранения нарастание модуля деформации во времени образцов ПЕС протекало более интенсивно, чем образцов ПАС.

По данным табл. 2 водонасыщение оказывает существенное влияние и на поперечные деформации образцов ПЕС и ПАС. Суточное водное хранение привело к заметному увеличению поперечных деформаций, а в последующем — к их существенному уменьшению.

Рассмотрим теперь как влияет водонасыщение на степень анизотропии по продольным и поперечным деформациям туфобетона. Кривые продольных и поперечных деформаций всех образцов ПЕС и ПАС представлены на фиг. 2. Как видно, на верхнем графике во всех случаях кривая деформаций образцов ПЕС (кривая 1) проходит ниже кривой деформаций образцов ПАС (кривая 2), и с увеличением продолжительности водного хранения расходимость этих кривых уменьшается и в итоге они практически сливаются. Слияние этих кривых при продолжительности водного хранения 3 мес. означает, что туфобетон по продольным деформациям стал изотропным. Согласно нижнему графику фиг. 2 аналогичным образом водонасыщение влияет и на поперечные дефор-

мации туфобетона, разница заключается лишь в том, что в этом случае слияние кривых поперечных деформаций образцов ПЭС и ПАС происходит гораздо раньше.



Фиг. 2. Влияние водонасыщения на анизотропию деформаций туфобетона.

В табл. 2 приведены значения коэффициента анизотропии исследованного туфобетона по модулю деформации $K_2 = E'/E$ (где E и E' — соответственно модули деформации образцов ПЭС и ПАС) в зависимости от продолжительности водного хранения.

При сухих образцах K_2 больше единицы, причем, тем больше, чем меньше сжимающее напряжение. После суточного водного хранения K_2 увеличивается и уже не зависит от величины напряжения, а дальнейшее водное хранение до 3-х мес. приводит к устойчивому его уменьшению до значения близкого к единице, то есть туфобетон по модулю деформации практически становится изотропным. Интересно то, что при водонасыщенных образцах степень анизотропии туфобетона по модулю деформации практически не зависит от величины напряжения.

В табл. 2 приведены значения коэффициента анизотропии по поперечным деформациям $K_3 = \epsilon_{\text{пол}}/\epsilon_{\text{пол}}$ (где $\epsilon_{\text{пол}}$ и $\epsilon_{\text{пол}}$ — соответственно поперечные деформации образцов ПЭС и ПАС). При сухих образцах K_3 существенно больше единицы и практически не зависит от величины напряжения. В результате суточного водного хранения K_3 уменьшалось особенно чувствительно при напряжении 5 МПа ($K_3 = 0.97$). Последнее свидетельствует о том, что туфобетон и по поперечным деформациям стал практически изотропным. При напряжении 10 МПа то же самое происходит несколько позже — примерно через 2.5 сут. водного хранения. После 3-х сут. водного хранения K_3 несколько меньше единицы и в дальнейшем изменяется весьма незначительно. Кроме этого

Таблица 2

Влияние водонасыщения на модуль деформации, поперечные деформации туфобетона и степень их анизотропии

Условия хранения образцов	Направление нагрузки по отношению к слоям бетона при испытании	Модуль деформации по касательной $\times 10^{-2}$ в МПа при напряжении (МПа)			Отношение модуля деформации водонасыщенных образцов ПАС к модулю деформации образцов ПАС при напряжении (МПа)			Отношение модуля деформации образцов ПАС к модулю деформации образцов ПАС при напряжении (МПа)			Поперечные деформации $\times 10^3$ при напряжении (МПа)			Отношение поперечных деформаций образцов ПАС к поперечным деформациям образцов ПАС при напряжении (МПа)		
		0	5	10	0	5	10	0	5	10	5	10	5	10	5	10
		Образцы сухие	перпен. парал.	57 76	54 67	51 59	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.33 1.35	1.24 1.35	1.16 1.35	7.8 6.1	24.2 18.6	1.28	1.30
1 сут в воде	перпен. парал.	46 62	43 58	40 54	0.81 0.82	0.80 0.87	0.78 0.92	1.35 1.20	1.35 1.22	1.35 1.22	8.4 8.7	34.2 26.8	0.97	1.28		
3 сут в воде	перпен. парал.	54 65	51 62	48 59	0.95 0.86	0.94 0.93	0.94 1.00	1.20 1.15	1.22 1.16	1.22 1.19	6.3 6.8	20.5 23.0	0.93	0.89		
7 сут в воде	перпен. парал.	62 71	57 66	52 62	1.09 0.93	1.06 0.99	1.02 1.05	1.15 1.06	1.16 1.07	1.19 1.08	5.7 6.1	17.7 19.0	0.93	0.93		
30 сут в воде	перпен. парал.	72 76	68 73	64 69	1.26 1.00	1.26 1.09	1.25 1.17	1.06 1.01	1.07 1.01	1.08 1.03	5.2 5.5	15.7 16.5	0.94	0.95		
3 мес в воде	перпен. парал.	78 79	75 76	71 73	1.37 1.04	1.39 1.13	1.39 1.24	1.01 1.03	1.01 1.03	1.03 1.03	5.3 5.8	14.9 15.5	0.91	0.96		

после 3-х сут. водного хранения K_c практически не зависит от величины сжимающего напряжения.

Таким образом, водонасыщение оказывает существенное влияние на прочность, деформации (продольные и поперечные) и анизотропные свойства весьма старого сухого туфобетона при сжатии. Как правило, независимо от того испытываются образцы перпендикулярно или параллельно слоям бетонирования, сначала водное хранение приводит к адсорбционному понижению прочности и увеличению деформаций (продольных и поперечных), а в дальнейшем — к существенному повышению прочности и уменьшению деформаций. При этом, эти изменения в количественном отношении в большой мере зависят от направления сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования. Повышение прочности и модуля деформации образцов, испытанных перпендикулярно слоям, гораздо больше, чем образцов, испытанных параллельно слоям, и в результате этого водное хранение приводит к тому, что туфобетон по прочности, модулю деформации и поперечным деформациям становится изотропным. Упрочнение, рост модуля деформации, уменьшение поперечных деформаций и уменьшение степени анизотропии туфобетона являются следствием того, что водное хранение приводит к заполнению образовавшихся под зернами крупного заполнителя бетона пустот (дефектов) водой и тем самым к восстановлению водных прослоек. Положительный эффект восстановленных прослоек в случае испытания образцов перпендикулярно слоям более чувствителен, чем при испытании образцов, параллельно слоям.

В следующем параграфе мы рассмотрим результаты наших опытов с высыхающими образцами, которые еще раз косвенно подтверждают справедливость гипотезы о важной положительной роли эффекта восстановленных водных прослоек при водонасыщении бетона.

§ 3. Влияние высыхания на прочность, деформации (продольные и поперечные) и степень анизотропии туфобетона

Цилиндрические прочности туфобетона по испытаниям образцов ПЕС и ПАС после различных сроков высыхания приведены в табл. 3. Одновременно приводятся данные об уменьшении веса образцов в результате высыхания.

Прежде, чем перейти к анализу данных табл. 3 с точки зрения влияния высыхания на прочность и степень анизотропии туфобетона по прочности, отметим, что объемный вес свежееуложенного туфобетона при изготовлении больших цилиндров составлял 1820 кг/м^3 . Спустя же 23 года, когда из больших неизолированных и изолированных цилиндров были выбурены малые цилиндрические образцы ПЕС и ПАС объемные веса последних соответственно составили: неизолированных образцов 1586 и 1606 кг/м^3 , а изолированных образцов— 1681 и 1687 кг/м^3 .

Таким образом, несмотря на наружную изоляцию за 23 года объемные веса изолированных образцов ПЕС и ПАС соответственно умень-

шались на 7.7% и 7.3%, что свидетельствует о ненадежности изоляции, которая была сделана для исключения испарения. Однако, несмотря на это, объемные веса изолированных образцов ПЕС и ПАС оказались все же выше объемных весов таких же неизолированных образцов. Это обстоятельство обусловило более высокую прочность изолированных образцов ПЕС и ПАС (23.1 и 21.8 МПа) по сравнению с прочностью таких же неизолированных образцов (13.6 и 16.4 МПа). Кроме этого, при изолированных образцах прочность образцов ПЕС хотя и незначительно, но все же больше прочности образцов ПАС, а при неизолированных образцах имеет место обратное явление и разница прочностей более существенна (табл. 1 и 3). Ниже будет показано, что все это весьма закономерно.

Таблица 3

Влияние высыхания на цилиндрическую прочность туфобетона и степень его анизотропии по прочности

Продолжительность высыхания образцов	Направление сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетона при испытании	% уменьшения веса образцов по массе изолированных образцов	Цилиндрическая прочность на сжатие в МПа	Отношение прочности высыхающих образцов к прочности изолированных образцов	Отношение прочности образцов ПАС к прочности образцов ПЕС
0	перпен.	0	23.1	1.00	0.94
	парал.	0	21.8	1.00	
7 сут	перпен.	3.4	23.2	1.00	0.96
	парал.	3.6	22.2	1.02	
1 мес	перпен.	5.3	20.3	0.88	1.04
	парал.	4.9	21.1	0.97	
3 мес	перпен.	6.0	17.7	0.77	1.15
	парал.	5.8	20.4	0.94	
5 мес	перпен.	8.2	16.4	0.71	1.19
	парал.	7.0	19.5	0.89	

Из данных табл. 1 и 3 следует, что прочности изолированных образцов ПЕС и ПАС соответственно на 70% и 33% выше прочности таких же неизолированных сухих образцов, то есть даже ненадежная изоляция обеспечила столь высокую прочность. Поэтому, вполне понятно, что если изоляция была бы надежной, то прочности изолированных образцов ПЕС и ПАС были бы еще выше, а их разница еще больше.

По данным табл. 3 высыхание образцов ПЕС и ПАС в течение первых 7 сут. практически не повлияло на их прочность, а дальнейшее высыхание привело к закономерному снижению их прочности. При этом, как и следовало ожидать, спад прочности образцов ПЕС оказался более чувствительным (на 29%), чем образцов ПАС (на 11%). Конечно,

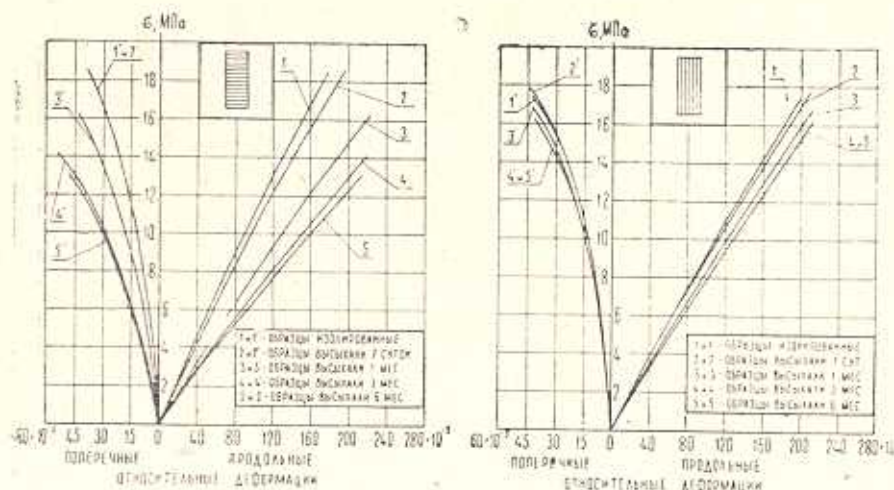
спад прочности был бы еще больше, если бы изоляция была надежной. Несовершенство изоляции и в связи с этим испарение и частичное исчезновение водных прослоек до начала выбуривания малых цилиндрических образцов уже привели к снижению прочности больших цилиндров. Таким образом, в полном соответствии с результатами опытов с водонасыщенными образцами (табл. 1), где водонасыщение после адсорбционного спада привело к заметному упрочнению образцов ПЕС и ПАС (особенно чувствительно образцов ПЕС), высыхание привело к обратному явлению — к снижению прочности образцов ПЕС и ПАС (особенно чувствительно образцов ПЕС).

В изолированных образцах коэффициент анизотропии туфобетона по цилиндрической прочности $K_1 = 0.94$ (табл. 3), то есть в этом случае прочность образцов ПЕС больше прочности образцов ПАС. Как и следовало ожидать, с увеличением продолжительности высыхания K_1 закономерно возрастает и через 6 мес. приобретает значение 1.19, то есть высыхание привело к увеличению степени анизотропии туфобетона по цилиндрической прочности. Как было уже показано, при водонасыщении сухих образцов наблюдалась обратная картина — уменьшение K_1 с 1.21 (при сухих образцах) до значения 0.96 (при водном хранении 3 мес.).

Высыхание оказывает существенное влияние и на деформации (продольные и поперечные) образцов ПЕС и ПАС (фиг. 3). Независимо от направления сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования, высыхание привело к увеличению как продольных, так и поперечных деформаций туфобетона. Из обоих графиков фиг. 3 ясно видно, что с увеличением продолжительности высыхания кривые продольных и поперечных деформаций все больше приближаются к осям деформаций. При этом влияние высыхания на деформации образцов ПЕС более чувствительно, чем на деформации образцов ПАС.

Более ясное количественное представление о влиянии высыхания на деформации (продольные и поперечные) туфобетона можно получить из данных табл. 4, где приведены касательные модули деформации и поперечные деформации при различных напряжениях. Из этих данных следует, что влияние высыхания на модуль деформации качественно имеет тот же характер, что и влияние высыхания на прочность туфобетона. С момента начала высыхания наблюдается закономерный спад модуля деформации во времени, причем этот спад в случае образцов ПЕС более существенен, чем в случае образцов ПАС. После 6 мес. высыхания спад модуля деформации образцов ПЕС, независимо от величины напряжения, составил 44%, а образцов ПАС при напряжении 0 и 15 МПа — 18% и 9%. Интересно то, что в изолированных образцах модуль деформации образцов ПЕС существенно больше модуля деформации образцов ПАС, а через месячное высыхание и в дальнейшем уже имеет место обратное. При этом, с увеличением продолжительности высыхания разница модулей деформаций образцов ПЕС и ПАС увеличивается, что весьма закономерно.

Таким образом, высыхание и в связи с этим исчезновение водных прослоек привело к более чувствительному спаду модуля деформации, чем прочности туфобетона.



Фиг. 3. Влияние высыхания на деформации туфобетона.

По данным табл. 4 в результате высыхания поперечные деформации туфобетона также увеличились, причем эти изменения в случае образцов ПЭС оказались весьма существенными, а образцов ПАС — незначительными. Так, например, при напряжении 10 МПа после 6 мес. высыхания поперечные деформации образцов ПЭС увеличились в 2.5 раза, а образцов ПАС всего — в 1.17 раза.

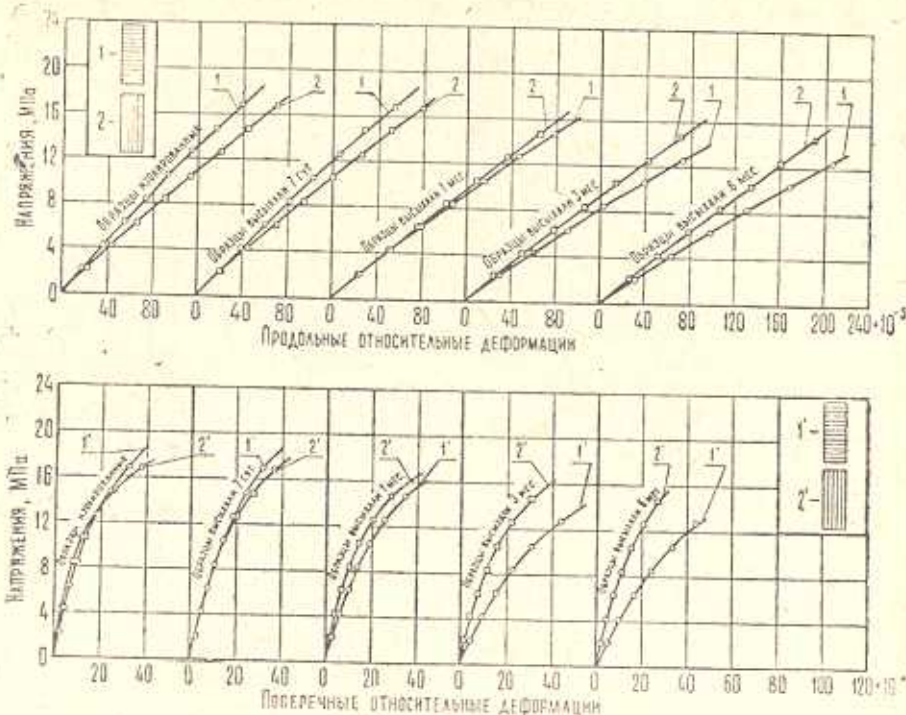
Рассмотрим теперь как влияет высыхание на степень анизотропии туфобетона по продольным и поперечным деформациям туфобетона (фиг. 4). На верхнем графике в изолированных образцах кривая продольных деформаций образцов ПЭС (кривая 1) проходит выше кривой продольных деформаций образцов ПАС (кривая 2). С увеличением продолжительности высыхания до месяца расходимость кривых 1 и 2 уменьшается, но уже кривая 2 проходит несколько выше кривой 1. После месяца дальнейшее высыхание уже приводит к постепенному увеличению расходимости кривых деформаций образцов ПЭС и ПАС, то есть к увеличению степени анизотропии по продольным деформациям.

Качественно аналогичным образом высыхание оказывает влияние и на степень анизотропии по поперечным деформациям туфобетона (нижний график фиг. 4). Разница заключается в том, что по поперечным деформациям туфобетон становится изотропным после более короткого времени высыхания. После этого дальнейшее высыхание приводит к чувствительному увеличению степени анизотропии по поперечным деформациям и всегда кривая деформаций образцов ПАС (кривая 2) проходит выше кривой деформаций образцов ПЭС (кривая 1).

Таблица 4

Влияние высыхания на модуль деформации, поперечные деформации туфобетона и степень их анизотропии

Продолжительность высыхания образцов	Направление сжатия/нагрузки по отношению к слою бетона при испытании	Модуль деформации по касательной $\times 10^{-2}$ в MPa при напряжении (MPa)					Отношение модуля деформации высушенных образцов к модулю деформации увлажненных образцов при напряжении (MPa)					Отношение модуля деформации образцов ПАС к модулю деформации ПАС при напряжении (MPa)					Поперечные деформации $\epsilon_{\text{поп}} \times 10^3$ при напряжении (MPa)					Отношение поперечных деформаций образцов ПАС к поперечным деформациям образцов ПАС при напряжении (MPa)				
		0	5	10	15	15	0	5	10	15	15	0	5	10	15	15	5	10	15	15	5	10	15	15		
0	перпен. парал.	122 97	112 91	103 86	94 80	94 80	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	1.00 1.00	0.80	0.81	0.83	0.85	0.85	5.0 4.6	12.4 12.3	24.7 28.0	1.07	1.01	0.88	0.88			
7 сут	перпен. парал.	114 93	104 88	94 83	85 79	85 79	0.93 0.95	0.93 0.97	0.91 0.97	0.90 0.99	0.90 0.99	0.82	0.85	0.88	0.93	0.93	5.3 5.2	13.1 13.4	25.3 28.5	1.02	0.98	0.86	0.86			
1 мес	перпен. парал.	84 86	78 82	71 79	65 75	65 75	0.69 0.89	0.70 0.90	0.69 0.92	0.69 0.94	0.69 0.94	1.02	1.05	1.11	1.15	1.15	7.0 5.2	17.9 13.8	35.7 30.8	1.35	1.30	1.19	1.19			
3 мес	перпен. парал.	73 82	67 79	62 76	57 73	57 73	0.60 0.85	0.60 0.87	0.60 0.88	0.61 0.91	0.61 0.91	1.12	1.18	1.23	1.28	1.28	11.2 5.4	29.1 14.4	62.8 32.6	2.07	2.02	1.93	1.93			
6 мес	перпен. парал.	68 80	63 78	58 75	53 73	53 73	0.56 0.82	0.56 0.86	0.56 0.87	0.56 0.91	0.56 0.91	1.18	1.24	1.30	1.38	1.38	12.2 5.8	30.6 14.4	61.5 28.5	2.10	2.12	2.16	2.16			



Фиг. 4. Влияние высыхания на анизотропию деформаций туфобетона.

Наглядное представление о количественном изменении степени анизотропии туфобетона по модулю деформации и поперечным деформациям в зависимости от продолжительности высыхания и величины сжимающего напряжения можно получить из данных табл. 4. Как видим, в случае изолированных образцов коэффициент анизотропии туфобетона по модулю деформации K_2 при всех рассмотренных напряжениях меньше единицы и с увеличением напряжения от 0 до 15 МПа возрастает от 0.80 до 0.85. $K_2 < 1$, так как в этом случае модуль деформации образцов ПАС меньше модуля деформации образцов ПЕС. В результате высыхания в течение первого неполного месяца K_2 в зависимости от величины напряжения в разное время возрастает до значения, равного единице, то есть туфобетон по модулю деформации становится изотропным. Последующее же высыхание до 6 мес. приводит к дальнейшему существенному росту K_2 , причем тем больше, чем больше напряжение. при повышении напряжения от 0 до 15 МПа K_2 возрастает от 1.18 до 1.38. $K_2 > 1$, так как в результате высыхания модуль деформации образцов ПАС становится больше модуля деформации образцов ПЕС.

Что касается коэффициента анизотропии туфобетона по поперечным деформациям K_3 , то последний в случае изолированных образцов при напряжении 5 МПа составляет 1.07 и с увеличением напряжения до 15 МПа уменьшается до значения 0.88 (табл. 4). После высыхания в течение первых 7 сут. K_3 несколько уменьшается, а дальнейшее высыхание до 6 мес. приводит к его существенному увеличению, но уже

этот коэффициент практически не зависит от величины напряжения — при повышении напряжения от 5 до 15 МПа K_2 возрастает от 2.10 до 2.16.

Из сравнения конечных значений коэффициентов K_1 и K_2 следует, что в результате высыхания степень анизотропии туфобетона по поперечным деформациям увеличилась гораздо больше, чем по продольным деформациям.

Таким образом, в полном соответствии с результатами опытов над водонасыщенными образцами, где водонасыщение привело к существенному росту прочности и модуля деформации весьма старого сухого туфобетона, а также к тому, что этот бетон по прочности и модулю деформации стал изотропным, как и следовало ожидать, в опытах с высыхающими образцами получилось обратное явление. Как правило, независимо от того испытываются образцы ПЕС или ПАС, после удаления изоляции высыхание весьма старого изолированного от влагопотери туфобетона приводит к понижению прочности и к увеличению его как продольных, так и поперечных деформаций. При этом, количественное влияние высыхания на прочность и деформативность бетона существенно зависит от направления сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования — понижение прочности и увеличение деформаций образцов ПЕС гораздо больше, чем образцов ПАС. По этой причине за короткое время высыхания туфобетон сперва по прочности и деформациям становится изотропным, однако, с дальнейшим высыханием его анизотропные свойства вновь начинают проявляться и степень анизотропии существенно возрастает.

Спад прочности, увеличение деформаций и изменение степени анизотропии бетона являются следствием тех пустот (дефектов), которые остаются на местах водных прослоек после испарения воды. Заметим, что это отрицательное явление, которое происходит в результате испарения во времени, способствует также интенсификации деформаций ползучести бетона в процессе его длительного сжатия. При этом, ползучесть бетона за счет этого до сих пор неизвестного механизма в большинстве случаев может оказаться весьма существенной.

§ 4. Практические рекомендации по уменьшению потери доли прочности бетона, вызванные испарением водных прослоек

Как уже отмечалось, наши опыты специально были поставлены над весьма старым изолированным бетоном (возраста 23 лет) с тем, чтобы можно было бы более обоснованно количественно оценить отрицательное влияние испарения водных прослоек на прочность и модуль деформации бетона и, как показали опыты, это влияние весьма существенно. Исходя из механизма данного явления, можно заключить, что при наличии испарения вызванное испарением водных прослоек снижение прочности и модуля деформации будет тем больше, чем моложе бетон.

Сам же этот процесс закончится тем быстрее, чем меньше будет влажность среды.

На основании наших опытов можно сделать также вывод, что при наличии испарения в любое время прочность бетона определяется наложением двух эффектов — положительного эффекта процесса твердения и отрицательного эффекта испарения водных прослоек.

По данным табл. 3 после высыхания в течение 6 мес. снижение прочности образцов ПЭС и ПАС соответственно составило 29% и 11%, а снижение модулей деформаций оказалось еще значительнее. Но если учесть, что из-за ненадежной изоляции больших цилиндров еще до момента выбуривания из них малых цилиндрических образцов имело место некоторое испарение, то фактические спады были еще больше. Наконец, эти спады оказались бы более значительными, если опыты проводились бы над молодым бетоном.

Таким образом, учитывая существенное отрицательное влияние испарения водных прослоек на прочность и модуль деформации бетона, необходимо в зависимости от характеристик материалов, применяемых для приготовления бетона, условий производства работ и условий работы бетонных и железобетонных конструкций принять все необходимые меры, чтобы уменьшить, а если возможно, полностью исключить отрицательное влияние этого явления.

Как уже указывалось, причиной неодинаковости свойств бетона в различных направлениях, то есть анизотропии, являются те водные прослойки, которые образуются под зёрнами крупного заполнителя при укладке и уплотнении бетона. Анализ же вышеописанных новых опытов над высыхающими образцами из весьма старого туфобетона показал, что именно с испарением этих водных прослоек связано снижение прочности и увеличение деформаций этого бетона, а также существенное увеличение степени его анизотропии.

К. С. Каралетян многочисленными опытами установил закономерности изменения степени анизотропии бетона по прочности, модуля деформации и деформациям ползучести при сжатии и растяжении в зависимости от различных факторов [5—15]. На основании этих опытов он пришел к выводу, что все те факторы, которые приводят к уменьшению количества и размеров водных прослоек, а следовательно, и пустот (дефектов), тем самым уменьшают степень анизотропии бетона. Учитывая это, а также результаты вышеописанных новых опытов, можно сделать ряд общих практических рекомендаций, которые позволяют существенно уменьшить и даже полностью исключить вызванное испарением водных прослоек снижение прочности и увеличение деформаций (продольных и поперечных) бетона.

На основании опытов [5—15] и вышеописанных опытов с водонасыщенными и высыхающими образцами из туфобетона можно заключить, что с точки зрения только положения элемента конструкций при бетонировании предпочтительным является горизонтальное положение, так как при этом отрицательное влияние испарения водных прослоек

намного меньше. Как известно, для сборного строительства большинство элементов конструкций бетонируется именно в горизонтальном положении. Что касается монолитного строительства, где элементы конструкций бетонируются в рабочем положении, то для уменьшения потери прочности элементов, бетонируемых в вертикальном положении, необходимо принять другие меры.

Как известно, с увеличением размеров поперечного сечения бетонного элемента, влажности среды, продолжительности вибрации бетонной смеси и расхода цемента степень анизотропии бетона по прочности, модулю деформации и деформациям ползучести уменьшается [8—10, 12]. Объясняется это тем, что с увеличением размеров поперечного сечения бетонного элемента отрицательное влияние испарившихся из его наружных слоев водных прослоек на общую прочность и деформации элемента уменьшается. Вполне понятно, что влияние масштабного фактора тесно связано с влажностью среды и чем больше влажность, тем меньше отрицательное влияние испарения водных прослоек. Что касается продолжительности вибрации бетонной смеси и расхода цемента, то с их увеличением уменьшается количество и размеры водных прослоек, а следовательно, и пустот (дефектов), что также приводит к уменьшению потери прочности.

Таким образом, варьируя этими и другими факторами можно существенно уменьшить вызванное испарением водных прослоек снижение прочности и модуля деформации бетона.

Так как вызванное испарением водных прослоек снижение прочности и модуля деформации бетона зависит от масштабного фактора, авторы решили более подробно изучить этот вопрос. Если рассматривать приготовленные из одного и того же бетона два бетонных цилиндра различных диаметров, то в результате высыхания цилиндр малого диаметра может высохнуть полностью и поэтому его прочность окажется меньше, чем прочность большого цилиндра, так как сечение последнего высохнет частично. Высыхание наружных слоев большого цилиндра приведет к тому, что прочность бетона в этой части будет значительно меньше, чем в его невысохшей ядровой части. Все сказанное в полной мере относится и к модулю деформации. К такому заключению мы приходим из сравнения данных табл. 1 и 3, относящихся к прочностям сухих и изолированных образцов — отношение прочности изолированных образцов к прочности сухих образцов по данным испытаний образцов ПЭС и ПАС соответственно составляет 1.70 и 1.33. Как видим, разница прочностей сухих и изолированных образцов весьма существенна, однако, утверждать, что все это является следствием только испарения водных прослоек нет основания, так как частично это могло быть обусловлено преждевременной стабилизацией процесса твердения также из-за высыхания бетона.

Для экспериментальной проверки как изменяется прочность бетона с наружных слоев в глубь бетонного элемента нами были поставлены специальные опыты по описанной в § 1 методике. На этот раз бето-

ным элементом, из разных зон сечения которого выбуривались малые цилиндрические образцы ($d = 5.5 \text{ см}$, $h = 18 \text{ см}$), был цилиндр диаметром 50 см , изготовленный из того же туфобетона, состав которого был приведен в § 1. Большой цилиндр до трехлетнего возраста хранился в воздушно-влажных условиях, а затем до момента выбуривания из него в возрасте 23 лет малых цилиндрических образцов — под открытым небом. Для установления закономерности изменения прочности бетона по поперечному сечению большого цилиндра в радиальных направлениях с наружного слоя до его оси малые цилиндрические образцы выбуривались из 4-х позиций. При этом ось малого цилиндрического образца, выбуренного из позиции 4, совпадала с осью большого цилиндра. Отметим, что в этих опытах образцы испытывались перпендикулярно слоям бетонирования.

Ввиду большого объема данной статьи мы вынуждены привести только некоторые данные этих опытов. В этих опытах прочность малых цилиндрических образцов, выбуренных из позиций 1, 2, 3 и 4 большого цилиндра соответственно, составили 19.1, 24.1, 24.9 и 25.8 МПа, а модуль деформации при напряжении 10 МПа — 84; 108; 109 и 110 в МПа $\times 10^2$. Как видим, прочность и модуль деформации образцов, выбуренных из позиций 1, в результате высыхания существенно меньше, чем тех образцов, которые были выбурены из позиций 2, 3 и 4. Отметим, что глубина высохшего наружного слоя большого цилиндра составляла 9 см. При более низкой влажности среды эта глубина была бы еще больше, а прочность, вероятно, еще меньше. По приведенным данным отношение усредненной прочности ядровой части большого цилиндра (средняя прочность позиции 2, 3 и 4) к прочности его наружного высохшего слоя (прочность по позиции 1) составляет 1.3. Соответствующее отношение модулей деформаций также получалось равным 1.3.

Установленный нами тот факт, что прочность наружных слоев большого цилиндра существенно меньше, чем прочность его ядровой части, указывает на необходимость учета этого фактора при проектировании бетонных и железобетонных конструкций. Для этого необходимо в СН и П предусмотреть специальный коэффициент условий работы. При этом, этот коэффициент должен быть установлен в зависимости от размеров сечения элементов конструкций, влажности среды и положения элементов конструкций при бетонировании.

В этих опытах часть образцов, которые были выбурены из позиции 2 ядровой части большого цилиндра (прочность в момент выбуривания составляла 24.1 МПа, а модуль деформации при напряжении 10 МПа — 108 в МПа $\times 10^2$) были испытаны через 4, 8 и 12 мес. высыхания в обычных лабораторных условиях и их прочности соответственно составили 23.4, 21.9 и 19.8 МПа, а модули деформаций при напряжении 10 МПа — 72, 69 и 66 в МПа $\times 10^2$. Таким образом, эти опыты еще раз показали, что высыхание приводит к снижению прочности и модуля деформации, которое связано с испарением водных прослоек.

По этим данным прочность снизилась на 18%, а модуль деформации — на 39%.

Установленный нами тот факт, что прочность бетона в наружных слоях большого бетонного элемента существенно меньше, чем в его ядровой части, заставляет обратить внимание еще на один важный вопрос. Как известно, существуют стандартные неразрушающие методы определения прочности бетона на сжатие в конструкциях приборами механического действия путем определения косвенных характеристик прочности бетона — величины отскока, размера отпечатка, усилия скалывания ребра конструкции, условного напряжения при отрыве. При этом все эти характеристики определяются на поверхности элемента конструкций. Учитывая результаты наших опытов, приходим к выводу, что полученную такими методами прочность бетона можно отнести ко всему сечению элемента конструкции, если это сечение небольшое. При большом сечении элемента этого делать нельзя, так как прочность его наружных слоев существенно меньше, чем прочность ядровой части. Для учета повышенной прочности ядровой части, площадь которой может оказаться существенной частью общей площади сечения элемента конструкции, необходимо ввести специальный поправочный коэффициент.

Остановимся еще на одной возможности уменьшения потери доли прочности бетона, вызванной испарением водных прослоек. Как известно, уменьшение крупности заполнителя приводит к снижению прочности и к увеличению как кратковременных, так и длительных деформаций бетона. Но вместе с этим, с уменьшением крупности заполнителя степень анизотропии по прочности и деформациям уменьшается, а объясняется это тем, что чем меньше крупность заполнителя, тем меньше размеры пустот (дефектов), которые остаются под зернами заполнителя после испарения водных прослоек [14]. Учитывая это, применением мелкого заполнителя можно существенно уменьшить отрицательное влияние пустот (дефектов) на прочность бетона. Правда, применение мелкого заполнителя требует перерасхода цемента, однако, во многих случаях применение даже мелкозернистых бетонов может оказаться экономически более выгодным.

В заключение данной работы отметим, что наши опыты свидетельствуют о том, что при наличии испарения любые бетонные элементы являются неоднородно наследственно-стареющими телами, свойства которых изменяются во времени в зависимости от координат. Теория ползучести для неоднородно наследственно-стареющих сред разработана Н. Х. Арутюняном [1—4].

Основные выводы

1. Водонасыщение оказывает существенное влияние на прочность, деформации (продольные и поперечные) и степень анизотропии весьма старого туфобетона при сжатии. Сначала водное хранение приводит к

некоторому адсорбционному спаду прочности и увеличению деформации, а в дальнейшем — к обратному явлению. При этом, эти изменения в большой степени зависят от продолжительности водного хранения и направления сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования.

Прочность сухих образцов, испытанных перпендикулярно слоям, заметно меньше, а деформации больше, чем образцов, испытанных параллельно слоям. Однако, эта разница прочностей и деформаций образцов, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям, в результате водного хранения стирается и туфобетон по прочности и деформациям становится изотропным. Объясняется это тем, что положительный эффект, вызванный заполнением образовавшихся под зернами заполнителя пустот (дефектов) водой в случае образцов, испытанных перпендикулярно слоям, более чувствителен, чем в случае образцов, испытанных параллельно слоям.

2. После удаления изоляции высыхание оказывает существенное влияние на прочность, деформации (продольные и поперечные) и степень анизотропии весьма старого туфобетона при сжатии. Высыхание приводит к чувствительному спаду прочности и увеличению деформаций бетона.

Отрицательное влияние высыхания существенно зависит от направления сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования — для образцов, испытываемых перпендикулярно слоям это отрицательное влияние гораздо больше, чем для образцов, испытываемых параллельно слоям. По этой причине, а также из-за того, что до удаления изоляции прочность образцов, испытанных перпендикулярно слоям больше, а деформации меньше, чем образцов, испытанных параллельно слоям, по мере испарения туфобетон сначала становится изотропным, а в дальнейшем — существенно анизотропным. Степень анизотропии по модулю деформаций гораздо больше, чем по прочности.

Спад прочности и модуля деформации, а также изменение степени анизотропии бетона является следствием тех пустот (дефектов), которые остаются на местах водных прослоек после их испарения. Испарение водных прослоек способствует также увеличению деформаций усадки и ползучести.

3. С момента изготовления бетонного элемента на положительный процесс его упрочнения во времени накладывается отрицательное влияние тех пустот (дефектов), которые остаются на местах образовавшихся под зернами крупного заполнителя водных прослоек после испарения последних. Снижение прочности и увеличение деформативности за счет этого отрицательного явления зависят от различных факторов и во многих случаях могут оказаться весьма значительными. Учитывая это, необходимо в зависимости от характеристик материалов, применяемых для приготовления бетона, условий производства работ и условий работы бетонных и железобетонных конструкций принять все необходи-

мые меры, чтобы уменьшить, а если возможно, полностью исключить отрицательное влияние этого явления.

Все те факторы, которые уменьшают количество и размеры водных прослоек, а следовательно, и пустот (дефектов), тем самым уменьшают потери доли прочности и деформации бетона.

4. Отрицательное влияние испарения водных прослоек на прочность и деформативность бетона в большой степени зависит от масштабного фактора. При бетонном элементе малого сечения это влияние более существенно, чем при бетонном элементе большого сечения, так как в первом случае высыхание охватывает все сечение, в то время как во втором случае — только часть сечения. Для учета этого отрицательного явления необходимо в СНиП предусмотреть специальный коэффициент условий работы, который, хотя бы на первых порах, должен быть установлен в зависимости от влажности среды, размеров поперечного сечения элемента конструкции и его положения при бетонировании.

5. Поскольку в результате испарения водных прослоек прочность наружных слоев бетонного элемента может оказаться существенно меньше, а деформации больше, чем его ядровой части, существующие неразрушающие методы оценки прочности бетона путем определения косвенных показателей на поверхности для элементов конструкций большого сечения неприемлемы. Этими методами невозможно также оценить прочность бетона в конструкциях в зависимости от направления сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования. Для учета повышенной прочности ядровой части бетонного элемента, а также его положения при бетонировании необходимо установить специальные поправочные коэффициенты.

Институт механики
АН Армянской ССР

Поступила 16 XII 1980

Կ. Ս. ԿԱՐԱԳԵՏՅԱՆ, Կ. Ա. ԿԱՐԱԳԵՏՅԱՆ

ԶՐԱՀԱԳԵՏՄԱՆ ԵՎ ՉՈՐԱՅՄԱՆ ՀԵՏԵՎԱՆՔՈՎ ՇԱՏ ՆԵՐ
ՏՈՒՅՈՒԹԵՏՈՆԻ ԱՄՐՈՒԹՅԱՆ, ԴԵՅՈՐՄԱՅԻՄԱՆԵՐԻ
ԵՎ ԱՆԵՂՈՏՐՈՊԻԱՅԻ ԱՍՏԻՃԱՆԻ ՓՈՓՈԽՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՈՒՍՈՒՄԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ՍԵՂՄՄԱՆ ԴԵՊԵՌՄ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Աշխատանքում բերվում են շատ ծեր տուֆոբետոնի ամրության, դեֆորմացիաների և անիզոտրոպիայի աստիճանի վրա ջրահագեցման և չորացման ազդեցությունների փորձարարական ուսումնասիրության արդյունքները սեղմման դեպքում:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ չոր բետոնի ջրահագեցումը բերում է նրա ամրության զգալի աճին և դեֆորմացիաների նվազմանը և բետոնը դառնում է իզոտրոպ:

Զորացման ժամանակ տեղի ունի հակառակ երևույթը—նվազում է բետոնի ամրությունը և աճում են անիզոտրոպիայի աստիճանը և բեռնավորված նմուշի դեֆորմացիաները:

INVESTIGATION OF CHANGE IN STRENGTH, MODULUS OF DEFORMATION AND DEGREE OF ANISOTROPY OF EXTREMELY OLD TUFOCONCRETE UNDER COMPRESSION OWING TO INUNDATION AND DRYING

K. S. KARAPETIAN, K. A. KARAPETIAN

S u m m a r y

The paper deals with the results of the experimental investigation of the influence of inundation and drying on strength, deformations (longitudinal and lateral) and degree of anisotropy of extremely old concrete under compression.

The experiments show that inundation of dry concrete results in a considerable increase in its strength, modulus of deformation, and the concrete by its strength and modulus of deformation becomes isotropic. During concrete drying the reverse phenomenon takes place—reduction in strength, modulus of deformation and increase in the degree of anisotropy.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян Н. Х. О теории ползучести для неоднородно наследственно-стареющих сред. Докл. АН СССР, 1976, т. 229, № 3.
2. Арутюнян Н. Х. Некоторые задачи теории ползучести для неоднородно-стареющих тел. Изв. АН СССР, МТТ, 1976, № 3.
3. Арутюнян Н. Х. Об уравнениях состояния в нелинейной теории ползучести. Докл. АН СССР, 1976, т. 231, № 3.
4. Арутюнян Н. Х. Краевая задача теории ползучести для нарастающего тела. ПММ, 1977, т. 41, вып. 5.
5. Карпетян К. С. Об одном существенном факторе в прочностных и деформативных свойствах бетона. Докл. АН Арм. ССР, 1957, т. 24, № 4.
6. Карпетян К. С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона. Изв. АН Арм. ССР, сер. физ.-мат. наук, 1957, т. 10, № 6.
7. Карпетян К. С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии и растяжении в зависимости от величины напряжения. Докл. АН Арм. ССР, 1964, т. 39, № 1.
8. Карпетян 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.
9. Карпетян К. С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона в зависимости от влажности среды. Изв. АН Арм. ССР, сер. физ.-мат. наук, 1965, т. 18, № 2.
10. Карпетян К. С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона в зависимости от продолжительности вибрации бетонной смеси. Докл. АН Арм. ССР, 1965, т. 40, № 4.

11. *Карпетян К. С.* Влияние анизотропии на ползучесть бетона в зависимости от высоты опытного образца. Докл. АН Арм. ССР, 1965, т. 40, № 5.
12. *Карпетян К. С.* Влияние анизотропии на прочность и ползучесть бетона в зависимости от расхода цемента. Изв. АН Арм. ССР, сер. физ.-мат. наук, 1965, т. 18, № 5.
13. *Карпетян К. С.* Влияние анизотропии на ползучесть бетона в зависимости от возраста бетона к моменту загрузки. Докл. АН Арм. ССР, 1965, т. 41, № 5.
14. *Карпетян К. С.* Влияние анизотропии на ползучесть бетона в зависимости от размеров заполнителя. Докл. АН Арм. ССР, 1966, т. 42, № 2.
15. *Карпетян К. С.* О вторичном твердении и изменении анизотропных свойств бетона при его водонасыщении. Докл. АН Арм. ССР, 1973, т. 57, № 3.
16. *Карпетян К. С., Котикян Р. А., Карпетян К. А.* Исследование анизотропии прочности и модуля деформации весьма старого бетона. Третий Национальный конгресс по теоретической и прикладной механике. Доклады, книга 1, Варна, 1977.