

ТЕОРИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ

К. С. КАРАПЕТЯН

ВЛИЯНИЕ АНИЗОТРОПИИ НА ПРОЧНОСТЬ И ПОЛЗУЧЕСТЬ
 БЕТОНА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РАСХОДА ЦЕМЕНТА

Как известно, бетон является анизотропным материалом, и влияние анизотропии на прочность, деформативность и ползучесть бетона весьма существенно [1—4].

Настоящая работа посвящена результатам исследования влияния анизотропии на прочность и ползучесть бетона при сжатии и растяжении в зависимости от расхода цемента.

§ 1. Общие сведения, объем и методика исследования

Влияние анизотропии на прочность, деформативность и ползучесть бетона изучалось над четырьмя составами шлакобетона и над четырьмя составами тяжелого бетона.

Составы бетонов приведены в табл. 1.

Составы бетона

Таблица 1

№, № составов	Вид бетона	Состав бетона по весу	Расход материалов на 1 м ³ бетона в кг				γ_0 в кг/м ³	μ в %
			цемент	песок	щебень	вода		
1	Шлакобетон	1:3,08:2,98	239	736	711	310	1996	1,3
2		1:2,29:2,23	312	716	694	305	2027	0,9
3		1:1,66:1,88	371	615	697	312	1995	0,8
4		1:1,37:1,55	433	592	669	322	2016	0,7
5	Тяжелый бетон	1:3,68:4,73	235	861	1112	194	2402	0,8
6		1:2,96:3,90	281	831	1095	195	2402	0,9
7		1:2,45:3,26	329	807	1071	197	2404	0,8
8		1:1,88:2,50	408	768	1022	202	2400	0,9

Эксперименты были выполнены на призматических образцах и восьмерках сечением 10×10 см, высотой 60 см, изготовленных в вертикальных и горизонтальных формах.

Приготовление бетона производилось вручную, а уплотнение на пробной площадке при продолжительности вибрации 30 секунд. Образцы отводились от формы через 48 часов.

Шлакобетонные образцы до месячного возраста хранились во влажной камере, далее в обычных лабораторных условиях, где проводились длительные опыты. Образцы из тяжелого бетона сразу после распалубки хранились в обычных лабораторных условиях.

В помещении, где проводились опыты над шлакобетонами, в процессе длительных опытов температура $T=21\pm 5^{\circ}\text{C}$, а относительная влажность $P=66\pm 12\%$. В помещении, где проводились опыты над тяжелым бетоном, $T=21\pm 6^{\circ}\text{C}$, а $P=62\pm 12\%$.

Призмы и восьмерки из всех составов шлакобетонов были установлены под длительную нагрузку в возрасте 29 дней, а из тяжелого бетона составов № 5 и 6—28 дней. Призмы из тяжелого бетона составов № 7 и 8 были загружены в возрасте 31 день.

Из каждой разновидности образцов загружались по три образца.

Всего было загружено 48 призм и 36 восьмерок.

С момента длительного нагружения образцов на таком же количестве образцов-близнецов определялись усадочные деформации.

Величины напряжений в длительно нагруженных образцах указаны на соответствующих графиках.

Помимо длительных опытов, под кратковременной нагрузкой были испытаны кубики, призмы и восьмерки.

Испытание призматических образцов производилось ступенчатым нагружением и выдержкой под каждой ступенью нагрузки в течение одной минуты. Восьмерки испытывались без выдержки.

§ 2. Влияние анизотропии на прочность и деформативность бетона при сжатии в зависимости от расхода цемента

Прочностные показатели бетонов на сжатие приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние анизотропии на прочность бетона при сжатии в зависимости от расхода цемента

Вид бетона	Возраст бетона к моменту испытания	№ состава бетона	Расход цемента на 1 м³ бетона в кг	Прочностные характеристики бетонов, когда направление сжимающей силы при испытании по отношению к слоям бетона						$\frac{R'}{R}$	$\frac{R'_{np}}{R_{np}}$
				перпендикулярно			параллельно				
				R в кг/см²	R_{np} в кг/см²	R_{np} в R	R' в кг/см²	R'_{np} в кг/см²	R'_{np} в R'		
Шлакобетон	28 дней	1	239	139	75	0,54	131	93	0,71	0,94	1,24
		2	312	206	137	0,66	211	163	0,77	1,02	1,19
		3	371	207	167	0,80	197	179	0,91	0,95	1,07
		4	433	272	221	0,81	276	214	0,77	1,01	0,97
Тяжелый бетон	1 год	5	235	—	67	—	—	60	—	—	0,90
		6	281	—	116	—	—	119	—	—	1,02
		7	329	—	140	—	—	159	—	—	1,13
		8	408	—	227	—	—	163	—	—	0,72

Как видно из табл. 2, относительная призмная прочность $\left(\frac{R_{np}}{R}\right)$ бетона по испытаниям призм параллельно слоям несколько больше, чем по испытаниям призм перпендикулярно слоям. С увеличением расхода цемента относительная призмная прочность бетона возрастает.

Данные табл. 2 показывают, что анизотропия бетона оказывает заметное влияние на призмную прочность бетона. При малых расходах цемента призмная прочность по испытаниям образцов параллельно слоям больше, чем призмная прочность по испытаниям образцов перпендикулярно слоям. Однако, с увеличением расхода цемента разница призмных прочностей уменьшается и после некоторого расхода цемента наблюдается обратное явление.

Таким образом, влияние анизотропии на призмную прочность бетона в большой мере зависит от расхода цемента.

Кубиковые прочности шлакобетонов составов № 2 и 3 практически получились одинаковые, несмотря на то, что расход цемента для состава № 3 был на 60 кг больше. Причиной этого, несомненно, является то, что песок, примененный для шлакобетона состава № 3, имел меньший объемный вес (1056 кг/м^3), чем песок, примененный для состава № 2 (1230 кг/м^3). По этой же причине увеличение расхода цемента не привело к существенному увеличению призмной прочности.

Экспериментальные кривые деформаций каждой серии призматических образцов были описаны зависимостью следующего вида

$$\varepsilon = \frac{a \frac{\sigma}{R_{np}}}{1 - b \frac{\sigma}{R_{np}}}, \quad (1)$$

где a и b — коэффициенты, определяемые из опыта.

На основании формулы (1) для модуля деформации получается следующая зависимость:

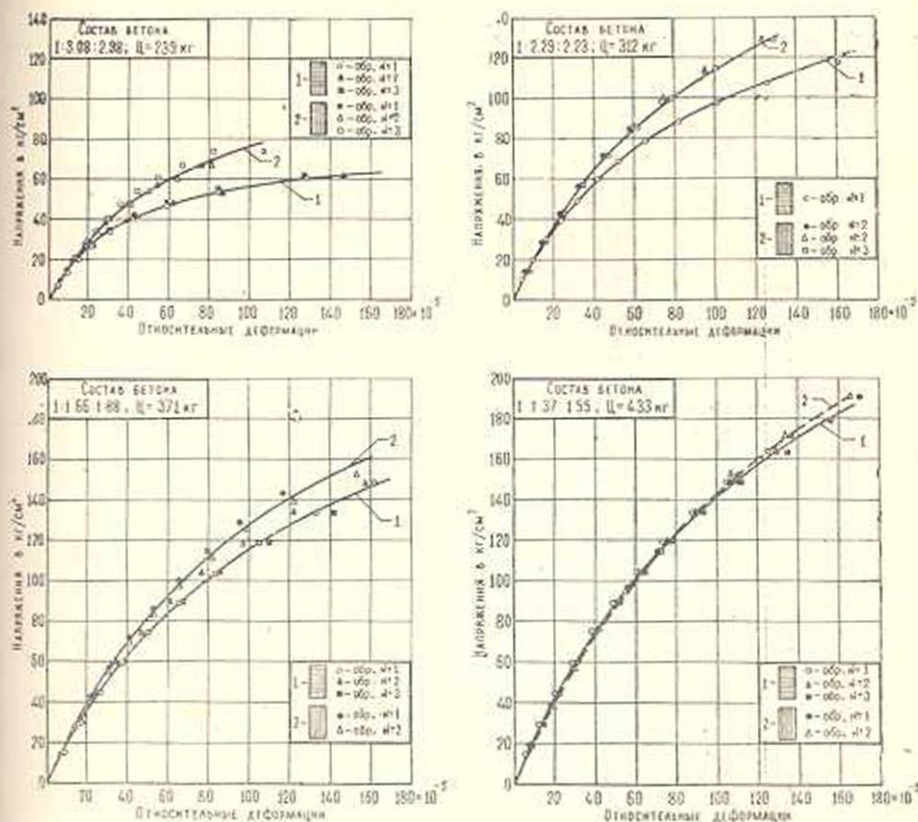
$$E = \frac{R_{np}}{a} \left(1 - b \frac{\sigma}{R_{np}}\right)^2, \quad (2)$$

где $\frac{R_{np}}{a}$ — начальный модуль деформации бетона (E_0).

На фиг. 1 приведены кривые деформаций призматических образцов из шлакобетонов, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям.

Как видно из фиг. 1, кривые деформаций, построенные по формуле (1), с использованием соответствующих значений параметров a и b хорошо отвечают опытным данным. На фиг. 1 во всех случаях кривые деформаций призм, испытанных параллельно слоям, расположились выше кривых деформаций призм, испытанных перпендикулярно слоям. Обратное явление наблюдалось только при тяжелом бетоне с наибольшим расходом цемента (состав 8).

Таким образом, влияние анизотропии на деформации бетона при сжатии в большой мере зависит от расхода цемента. При малых расходах цемента деформации бетона по испытанию призм параллельно слоям заметно меньше, чем по испытаниям образцов перпендикулярно слоям. С увеличением расхода цемента разница деформаций уменьшается, и при некотором расходе цемента они приобретают одинаковые значения. Дальнейшее увеличение расхода цемента уже приводит к тому, что деформации образцов, испытанных параллельно слоям, становятся больше деформаций образцов, испытанных перпендикулярно слоям.



фиг. 1. Влияние анизотропии на деформации шлакобетона при сжатии в зависимости от расхода цемента.

В табл. 3 приведены значения касательных модулей деформаций бетонов при сжатии, подсчитанные по формуле (2). Здесь ясно видно, как с увеличением расхода цемента характер влияния анизотропии на модуль деформации бетона с увеличением расхода цемента изменяется. На основании данных табл. 3 можно сделать вывод, что влияние анизотропии на модуль деформации тяжелого бетона при сжатии гораздо больше, чем на модуль деформации шлакобетона. Одновременно еще раз подтверждается и тот вывод, что с увеличением напряжения влияние анизотропии на модуль деформации бетона увеличивается [3, 4].

Таблица 3

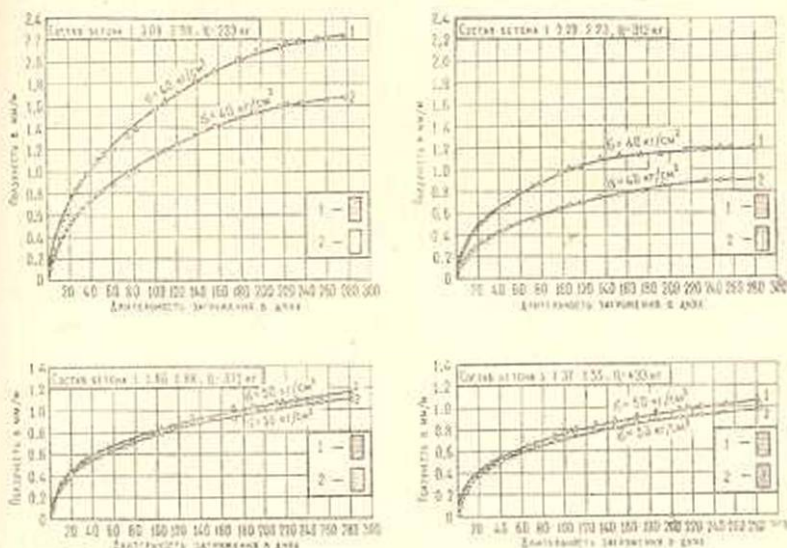
Влияние анизотропии на модуль деформации бетона при сжатии в зависимости от расхода цемента

Возраст бетона к моменту испытания	Вид бетона	Н-мер состава бетона	Расход цемента на 1 м ³ бетона в кг	Направление сжим. ющей силы при испытании п. отнош. к слоям бетона	Модуль деформации бетона по касательной в Т, см ² при напряжении					Отношение модуля деформации образцов, испытанных параллельно слоям, к модулю деформаций образцов, испытанных перпендикулярно слоям при напряжении				
					$\sigma = 0$	$\sigma = 30$ кг/см ²	$\sigma = 60$ кг/см ²	$\sigma = 100$ кг/см ²	$\sigma = 150$ кг/см ²	$\sigma = 0$	$\sigma = 30$ кг/см ²	$\sigma = 60$ кг/см ²	$\sigma = 100$ кг/см ²	$\sigma = 150$ кг/см ²
28 дней	шлакобетон	1	239	перпенд. парал.	192 181	75 109	12 55	— —	— —	0,94	1,45	4,58	—	—
		2	312	перпенд. парал.	211 216	147 166	95 123	20 74	— —	1,02	1,13	1,29	3,70	—
		3	371	перпенд. парал.	205 224	161 180	123 141	79 97	38 53	1,09	1,12	1,14	1,23	1,39
		4	433	перпенд. парал.	236 226	196 193	160 162	121 124	77 85	0,96	0,98	1,01	1,02	1,10
1 год	тяжелый бетон	5	235	перпенд. парал.	146 165	55 77	— —	— —	— —	1,13	1,40	—	—	—
		6	281	перпенд. парал.	199 229	136 168	86 116	36 62	— —	1,15	1,23	1,35	1,72	—
		7	329	перпенд. парал.	235 269	170 216	115 169	59 115	— —	1,14	1,27	1,47	1,95	—
		8	408	перпенд. парал.	240 252	214 211	190 174	159 130	125 84	1,05	0,99	0,91	0,81	0,67

§ 3. Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии в зависимости от расхода цемента

На фиг. 2 приведены кривые ползучести 4-х составов шлакобетонов при сжатии по испытаниям призм перпендикулярно и параллельно слоям.

На фиг. 2 независимо от состава бетона во всех случаях кривые ползучести призм, испытанных перпендикулярно слоям, расположились выше кривых ползучести призм, испытанных параллельно слоям. Однако, как видим, с увеличением расхода цемента расхождение кривых ползучести образцов, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям укладки бетона, уменьшается. Аналогичное явление наблюдалось в опытах над четырьмя составами тяжелого бетона.



Фиг. 2. Влияние анизотропии на ползучесть шлакобетона при сжатии в зависимости от расхода цемента.

В момент длительного нагружения призматических образцов из составов бетонов №№ 1, 2, 5 и 6 сжимающее напряжение составляло 40 кг/см^2 , а призматических образцов из составов бетонов № 3, 4, 7, 8— 50 кг/см^2 . Поэтому, чтобы можно было более правильно качественно и количественно оценить влияние анизотропии на ползучесть бетона в зависимости от расхода цемента, на фиг. 3, в качестве примера, приведены кривые мер ползучести всех составов шлакобетонов. Последние наглядно показывают, как с увеличением расхода цемента кривые меры ползучести по испытаниям призм перпендикулярно и параллельно слоям все больше приближаются друг к другу.

В табл. 4 приведены предельные значения мер ползучести всех составов бетонов при сжатии. Одновременно для каждого состава бетона приводится отношение меры ползучести призм, испытанных перпендикулярно к слоям, к мере ползучести призм, испытанных параллельно слоям.

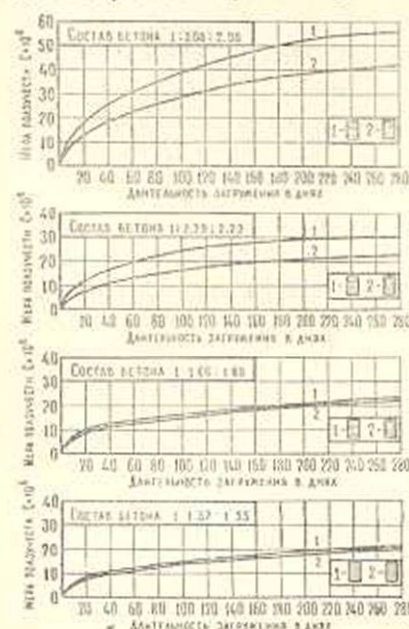
Как видно из табл. 4, независимо от вида бетона с увеличением расхода цемента мера ползучести бетона при сжатии уменьшается. С увеличением расхода цемента уменьшается

$$\text{и } \frac{C}{C'}$$

Таблица 4

Влияние анизотропии на меру ползучести бетона при сжатии в зависимости от расхода цемента

Вид бетона	Номер состава	Расход цемента на 1 м ³ бетона в кг	Мера ползучести бетона, когда направление сжимающей силы по отношению к слоям бетона		$\frac{C}{C'}$
			перпенд. ($C \times 10^6$)	парал. ($C' \times 10^6$)	
Шлакобетон	1	239	55,9	42,1	1,33
	2	312	30,0	22,5	1,33
	3	371	23,1	21,9	1,06
	4	433	21,1	19,2	1,10
Тяжелый бетон	5	235	40,4	32,0	1,26
	6	281	23,7	19,2	1,23
	7	329	18,4	14,4	1,28
	8	408	12,1	11,2	1,08



Фиг. 3. Влияние анизотропии на меру ползучести шлакобетона при сжатии в зависимости от расхода цемента.

Таким образом, с увеличением расхода цемента влияние анизотропии на меру ползучести бетона при сжатии уменьшается.

§ 4. Влияние анизотропии на прочность и деформативность бетона при растяжении в зависимости от расхода цемента

Прочностные показатели 4-х составов шлакобетонов и 2-х составов тяжелых бетонов на растяжение приведены в табл. 5.

Как показывают данные табл. 5, прочностные показатели шлакобетонов составов № 2 и 3 на растяжение практически получились одинаковыми. Причиной этого, как уже указывалось, является то, что шлаковый песок, примененный для составов № 3 и 4, имел объемный вес меньший, чем шлаковый песок, примененный для составов № 1 и 2.

Как видно из табл. 5, во всех случаях, независимо от величины расхода цемента, прочность образцов, испытанных на растяжение параллельно слоям, получилась больше, чем прочность образцов, испытанных перпендикулярно слоям. По этой же причине и относительная прочность бетона на растяжение в первом случае больше.

На основании данных табл. 5 отношение $\frac{R_p}{R_p'}$ для всех составов бетона получилось практически одинаковым.

Таблица 5

Влияние анизотропии на прочность бетона при растяжении в зависимости от расхода цемента

Вид бетона	Возраст бетона к моменту испытания	№ составов	Расход цемента на 1 м ³ бетона в кг	Прочностные показатели бетонов, когда направление растягивающей силы при испытании по отношению к слоям бетона						$\frac{R'_p}{R_p}$
				перпендикулярно			параллельно			
				R в кг/см ²	R_p в кг/см ²	$\frac{R_p}{R}$	R' в кг/см ²	R'_p в кг/см ²	$\frac{R'_p}{R'}$	
Шлакобетон	28 дней	1	239	139	7,7	0,056	131	10,7	0,081	1,39
		2	312	206	12,1	0,059	211	16,9	0,080	1,40
		3	371	207	12,8	0,062	197	17,1	0,086	1,33
		4	433	272	13,8	0,050	276	19,1	0,069	1,38
Тяжелый бетон	1 год	5	235	—	4,4	—	—	5,7	—	1,29
		6	281	—	8,0	—	—	11,5	—	1,44

Таким образом, несмотря на то, что влияние анизотропии на прочность бетона при растяжении весьма существенно, от расхода цемента как будто оно не зависит. Однако, мы полагаем, что и в данном случае влияние анизотропии имеет тот же характер, который мы наблюдали в случае сжатия. Разница заключается лишь в том, что при растяжении характер влияния анизотропии на прочность бетона стирается при более большом расходе цемента, чем это имеет место в случае сжатия.

По данным табл. 5 при одинаковом расходе цемента прочность тяжелого бетона при растяжении получилась меньше, чем прочность шлакобетона. На первый взгляд это может показаться неправдоподобным особенно если учесть, что данные испытаний тяжелых бетонов соответствуют возрасту 1 год, а данные шлакобетонов—28 дней. Однако, как будет показано, на это есть свои причины.

Мы не располагаем данными испытаний образцов из тяжелых бетонов в возрасте 28 дней, хранившихся в обычных условиях, где проводились наши длительные опыты. Поэтому мы воспользуемся результатами испытания восьмерок из бетонов составов № 5 и № 6, которые хранились во влажных условиях.

В качестве примера мы приведем данные, относящиеся только к бетону состава № 5.

По испытаниям восьмерок, хранившихся во влажных условиях перпендикулярно слоям, прочность бетона в 28-дневном и годичном возрастах соответственно составляла 9,8 и 18 кг/см², а по испытаниям восьмерок параллельно слоям — 10,0 и 26,7 кг/см². Сравнение этих данных с аналогичными данными, относящимися к обычному хранению (табл. 5), показывает, какое большое влияние оказывает влажность среды на прочность бетона при растяжении. Однако, надо полагать, что это влияние до месячного возраста было не существенным и поэтому без большой погрешности данные прочностных показателей бетона состава № 5 на рас-

тяжение, хранившегося во влажных условиях, можно отнести и к условиям обычного хранения.

Таким образом, нарастание прочности бетона на растяжение во времени при благоприятных влажностных условиях весьма существенно, а при малой влажности среды нарастание прочности не только может приостановиться, но даже может наблюдаться падение прочности бетона во времени.

Такое явление неоднократно наблюдалось и в ранее проведенных нами исследованиях [3, 4].

Падение прочности бетона во времени в данном случае обусловлено тем, что портландцемент, на котором были приготовлены все составы бетонов, был пуццолановый, а, как известно, при этом условия твердения приобретают еще большее значение.

Низкие показатели прочности тяжелых бетонов на растяжение по сравнению с показателями шлакобетонов частично объясняются и тем, что в момент приготовления шлакобетонов цемент имел марку «400», а тяжелых бетонов — «300».

Все, что было сказано в отношении влияния влажности среды на прочность бетона при растяжении, в полной мере относится и к прочности бетона на сжатие. Однако, при неблагоприятных влажностных условиях падение прочности бетона на сжатие во времени относительно меньше, чем падение прочности бетона на растяжение.

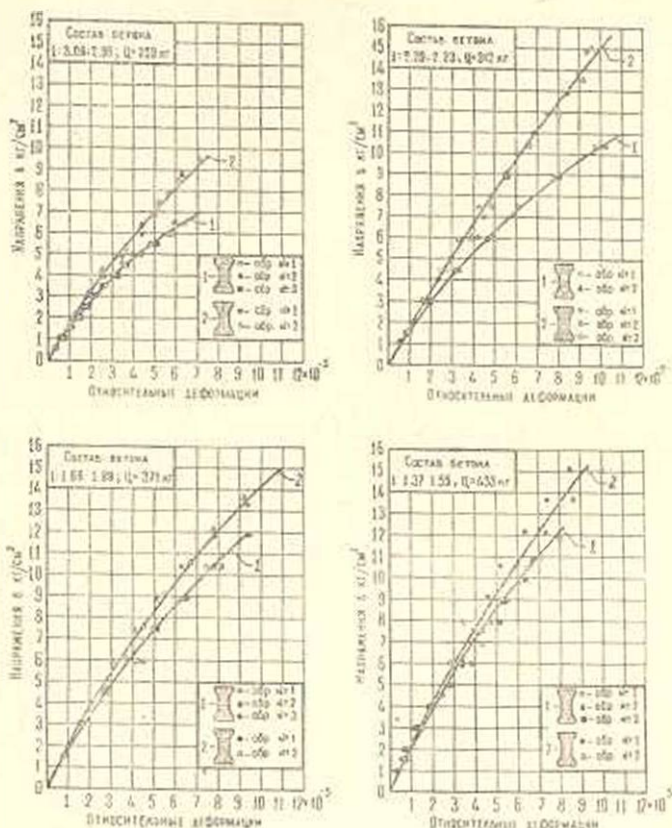
На фиг. 4 приведены кривые деформаций 4-х составов шлакобетонов на растяжение. В этом случае также все экспериментальные кривые деформаций каждой серии образцов были описаны зависимостью (2) и получены значения параметров a и b .

На фиг. 4 все кривые деформаций образцов, испытанных параллельно слоям, расположились выше кривых деформаций тех образцов, которые были испытаны перпендикулярно слоям, указывая тем самым на то, что в первом случае деформации меньше. Однако, нетрудно заметить, что с увеличением расхода цемента расхожимость кривых деформаций образцов, испытанных на растяжение перпендикулярно и параллельно слоям, уменьшается, и очевидно при некотором расходе цемента они совпадут. А дальнейшее увеличение расхода цемента уже приведет к тому, что будет наблюдаться обратное явление, т. е. кривая деформаций образцов, испытанных перпендикулярно слоям, займет положение выше кривой деформаций образцов, испытанных параллельно слоям.

Таким образом, характер влияния анизотропии на деформации бетона при растяжении, в зависимости от расхода цемента, такой же, как при сжатии. Разница заключается лишь в том, что в первом случае тот расход цемента, при котором деформации образцов, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям, приобретают одинаковые значения гораздо больше.

В табл. 6 приведены значения модулей деформаций бетонов по касательной при растяжении, определенные по формуле (2), при различных напряжениях. Как и в случае сжатия, модуль деформации бетона по ис-

пытаниям образцов параллельно слоям больше, чем по испытаниям образцов перпендикулярно слоям. Однако, с увеличением расхода цемента отношение модулей при этих двух видах испытаний уменьшается.



Фиг. 4. Влияние анизотропии на деформации шлакобетона при растяжении в зависимости от расхода цемента.

На основании данных табл. 6 можно сделать вывод, что и при растяжении влияние анизотропии на модуль деформации тяжелого бетона гораздо больше, чем на модуль деформации шлакобетона.

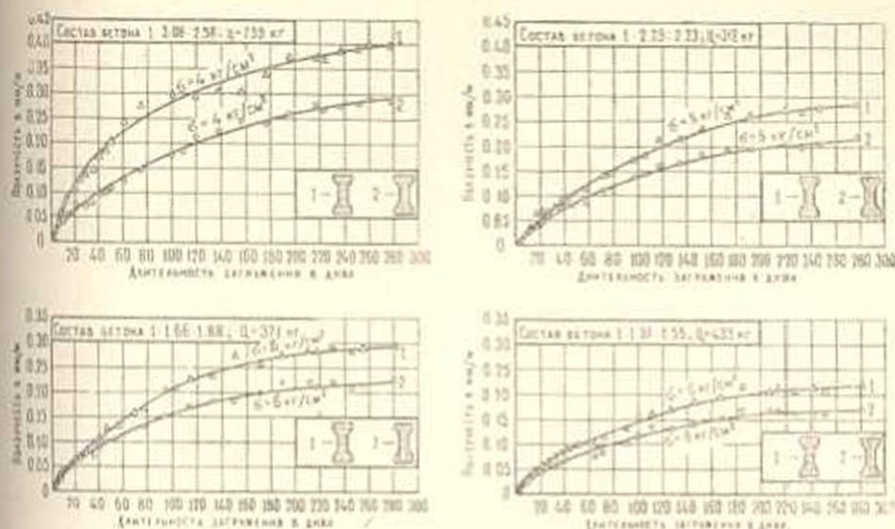
§ 5. Влияние анизотропии на ползучесть бетона при растяжении в зависимости от расхода цемента

На фиг. 5 представлены кривые ползучести 4-х составов шлакобетон при растяжении. Как видим, ползучесть образцов, испытанных перпендикулярно слоям при всех составах бетонов, больше ползучести образцов, испытанных параллельно слоям. Однако, разница деформаций ползучести и в этом случае, как при сжатии, с увеличением расхода цемента уменьшается. Более наглядно это видно из фиг. 6, где приведены кривые мер ползучести шлакобетонов при растяжении.

Таблица 6

Влияние анизотропии на модуль деформации бетона при растяжении в зависимости от расхода цемента

Вид бетона	Возраст бетона к моменту испытания	Номер состава	Расход цемента на 1 м ³ бет. в кг	Направление растягивающей силы при испыт. по отнош. к слоям бетона	Модуль деформации бетона по касательной в $T/см^2$ при напряжении				Отношение модуля деформации образцов, испытанных параллельно слоям, к модулю деформаций образцов, испытанных перпендикулярно к слоям, при напряжении			
					$\tau=0$	$\tau=3$ кг/см ²	$\tau=5$ кг/см ²	$\tau=10$ кг/см ²	$\sigma=0$	$\sigma=3$ кг/см ²	$\sigma=6$ кг/см ²	$\sigma=10$ кг/см ²
Шлакобетон	28 дней	1	239	перпенд. парал.	167 172	112 145	67 121	— —	1,03	1,29	1,81	—
		2	312	перпенд. парал.	164 178	131 167	101 157	67 144	1,09	1,27	1,55	2,15
		3	371	перпенд. парал.	186 204	158 178	132 153	100 126	1,10	1,13	1,16	1,26
		4	433	перпенд. парал.	219 225	187 201	158 179	125 152	1,03	1,07	1,13	1,22
Тяжелый бетон	1 год	5	235	перпенд. парал.	112 195	45 108	— —	— —	1,74	2,40	—	—
		6	281	перпенд. парал.	138 207	108 159	82 115	— —	1,50	1,47	1,40	—



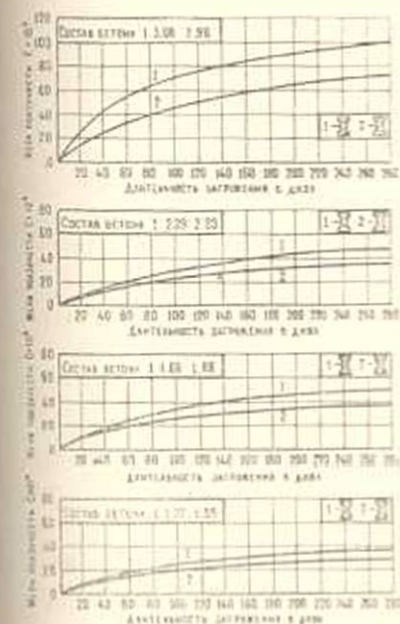
Фиг. 5. Влияние анизотропии на ползучесть шлакобетона при растяжении в зависимости от расхода цемента.

В табл. 7 сведены значения предельных значений мер ползучести всех составов бетонов по испытаниям образцов перпендикулярно и параллельно слоям при растяжении. Здесь же указаны значения отноше-

ний мер ползучести бетонов $\left(\frac{C_p}{C_n}\right)$.

На основании данных табл. 7 с увеличением расхода цемента мера ползучести как шлакобетона, так и тяжелого бетона при растяжении уменьшается. При одинаковом расходе цемента мера ползучести шлакобетона значительно больше, чем мера ползучести тяжелого бетона.

Меры ползучести шлакобетонов составов № 2 и 3 практически получились одинаковые (табл. 7). Такое же явление мы наблюдали в прочностных показателях этих составов бетонов, что было объяснено разными объемными весами тех песков, которые были применены для их приготовления. Именно по этой же причине, несмотря на большой расход цемента, мера ползучести шлакобетона состава № 3 получилась равной



Фиг. 6. Влияние анизотропии на меру ползучести шлакобетона при растяжении в зависимости от расхода цемента.

мере ползучести шлакобетона состава № 2.

Таблица 7

Влияние анизотропии на меру ползучести бетона при растяжении в зависимости от расхода цемента

Вид бетона	Номер состава	Расход цемента на 1 м ³ бетона в кг	Мера ползучести бетона, когда направление растягивающей силы по отношению к слоям бетона		$\frac{C_p}{C_p'}$
			перпенд. ($C_p \cdot 10^6$)	парал. ($C_p' \cdot 10^6$)	
Шлакобетон	1	239	100,5	73,2	1,37
	2	312	48,0	35,3	1,36
	3	371	48,8	36,8	1,33
	4	433	36,2	28,0	1,28
Тяжелый	5	235	69,5	40,5	1,71
	6	281	40,6	23,4	1,73

Отношение $\frac{C_p}{C_p'}$ для разных составов шлакобетонов и тяжелых бетонов отличается незначительно (табл. 7). Однако, из опытов над четырьмя составами шлакобетонов вытекает вывод, что с увеличением расхода цемента влияние анизотропии на ползучесть бетона при растяжении также уменьшается.

Таким образом, влияние анизотропии на ползучесть бетона при растяжении в зависимости от расхода цемента имеет тот же характер, что и при сжатии. Однако, очевидно, в данном случае отношение $\frac{C_p}{C_p'}$ приобретает значение, равное единице при более значительном расходе цемента, чем это имеет место при сжатии.

§ 6. О причинах уменьшения влияния анизотропии на прочность, деформативность и ползучесть бетона с увеличением расхода цемента

Проведенные исследования показали, что влияние анизотропии на прочность, деформативность и ползучесть бетона в большой мере зависит от расхода цемента. При малых расходах цемента призмная прочность и прочность бетона на растяжение по испытаниям образцов параллельно слоям больше, а деформации меньше, чем по испытаниям образцов перпендикулярно слоям. С увеличением расхода цемента различия как прочностей, так и деформаций образцов, испытанных параллельно и перпендикулярно слоям, уменьшается и при некотором расходе цемента полностью стирается. Дальнейшее увеличение расхода цемента приводит к тому, что прочность бетона по испытаниям образцов параллельно слоям уже получается меньше, а деформации больше, чем по испытаниям образцов перпендикулярно слоям.

Прочностные и деформативные показатели бетона по испытаниям образцов параллельно и перпендикулярно слоям на растяжение получаются одинаковые при более большом расходе цемента, чем на сжатие.

Для выяснения причин, которые приводят к изменению степени влияния анизотропии на прочность, деформативность и ползучесть бетона с увеличением расхода цемента, мы будем исходить из той гипотезы, которая нами была выдвинута для объяснения природы анизотропии бетона [1, 2].

При укладке и уплотнении бетона в результате внутреннего расслаивания излишняя вода отжимается на поверхность бетона, а часть ее по пути задерживается под частицами крупного заполнителя, образуя множества водных прослоек. В дальнейшем по мере твердения бетона, особенно когда это происходит в условиях невысокой влажности среды, вода из указанных прослоек испаряется и на их местах образуются пустоты, которые ослабляют структуру бетона и тем самым оказывают отрицательное влияние на прочность бетона. Отрицательное влияние получается наибольшим в том случае, когда призмы и восьмерки испытываются перпендикулярно слоям укладки бетона, так как внешняя нагрузка направлена перпендикулярно площади пустот [1, 2].

При приготовлении бетона с увеличением расхода цемента количество воды, которое поглощается цементом при его затворении, увеличивается; поэтому уменьшается количество свободной излишней воды и той ее части, которая задерживается под частицами крупного заполнителя при укладке и уплотнении бетона. А последнее приводит к уменьшению как количества, так и размеров тех дефектов, которые образуются в бетоне в результате внутреннего расслаивания, и тем самым к уменьшению влияния анизотропии.

Таким образом, с увеличением расхода цемента влияние анизотропии на прочность и деформативность бетона, обусловленное внутренним расслаиванием, уменьшается и при некотором расходе цемента стирается. Такой вывод вытекает из наблюдавшегося того явления, что после некоторого расхода цемента при дальнейшем его увеличении призмная прочность бетона по испытаниям образцов параллельно слоям получается, наоборот, меньше, а деформации больше, чем по испытаниям образцов перпендикулярно слоям.

Исходя из данного нами объяснения причины анизотропии бетона, внутреннее расслаивание не может привести к такому явлению. Здесь несомненно есть другая причина, влияние которой противоположно влиянию анизотропии и их наложение приводит к такому явлению.

На основании опытов О. Н. Штерна прочность призм, испытанных параллельно слоям, на 10—13% меньше, чем прочность призм, испытанных перпендикулярно слоям [6]. Аналогичное явление наблюдалось и в опытах Г. Н. Писанко [5].

В работе О. Н. Штерна состав бетона, над которым были выполнены его опыты, не приводится. Что же касается опытов Г. Н. Писанко, то они относятся к высокопрочному бетону с большим расходом цемента. Однако, нет сомнения, что и в опытах О. Н. Штерна испытывался бетон с большим расходом цемента, так как на основании наших исследований только в этом случае призмная прочность по испытаниям образцов па-

параллельно слоям получается меньше, чем по испытаниям образцов перпендикулярно слоям.

При изготовлении бетонных образцов слои бетона по высоте из-за неодинаковой степени уплотнения приобретают разные прочностные и деформативные свойства. И, как указывает О. Н. Штерн, это обстоятельство отрицательно сказывается на прочности призм, бетонируемых в горизонтальном положении. А происходит это так потому, что при их испытании из-за неодинаковой прочности слоев нагрузка сечением воспринимается неравномерно. Вначале в работу включаются более плотные и прочные слои бетона, и с повышением нагрузки происходит перераспределение напряжений с прочных слоев на менее прочные. А поскольку еще до того, как все сечение бетонного образца в полной мере включается в работу, происходит разрушение прочных слоев, рабочее сечение уменьшается, и разрушающая нагрузка понижается. При вертикальном бетонировании образцов бетон по высоте также получается неоднородным, однако при испытании, поскольку нагрузка воспринимается равномерно всем сечением, прочность получается больше. Это и есть тот дополнительный фактор, влияние которого, накладываясь на влияние анизотропии, приводит к полученным соотношениям призмных прочностей, модулей деформаций и деформаций ползучести бетонных образцов, испытанных параллельно и перпендикулярно слоям в зависимости от расхода цемента.

Влияние анизотропии, обусловленное внутренним расслаиванием, на прочность, деформативность и ползучесть бетона до определенного расхода цемента более существенно, чем то влияние, которое оказывает неоднородность бетона, возникающая вследствие неодинаковой степени уплотнения его слоев. Это так потому, что в противном случае и при малых расходах цемента прочность призм по испытаниям образцов параллельно слоям была бы меньше, а деформации больше, чем по испытаниям образцов перпендикулярно слоям.

Все вышесказанное в полной мере относится и к случаю растяжения. Разница заключается лишь в том, что в этом случае влияние анизотропии на прочность, деформативность и ползучесть бетона стирается при более больших расходах цемента.

В ы в о д ы

1. Анизотропия бетона обусловлена внутренним расслаиванием, которое имеет место при его укладке и уплотнении.
2. Анизотропия оказывает существенное влияние на прочность, деформативность и ползучесть бетона при сжатии и растяжении и в большой мере зависит от расхода цемента.

При малых расходах цемента, благодаря анизотропии, призмная прочность и прочность бетона на растяжение по испытаниям образцов параллельно слоям гораздо больше, а деформации при кратковременном и длительном нагружении меньше, чем по испытаниям образцов перпен-

дикулярно слоям. С увеличением расхода цемента, влияние анизотропии на прочность и деформативность бетона при сжатии и растяжении уменьшается и при некотором расходе цемента стирается.

3. При укладке и уплотнении слоёв бетона по высоте из-за неодинаковой степени уплотнения приобретают разные прочностные и деформативные свойства, что более отрицательно сказывается на прочности образцов, бетонируемых в горизонтальном положении.

4. До определенного расхода цемента влияние анизотропии на прочность, деформативность и ползучесть бетона, обусловленное внутренним расслаиванием, более существенно, чем влияние неоднородности бетона из-за различной прочности и деформативности его слоёв.

5. Прочностные и деформативные показатели бетона по испытаниям образцов параллельно и перпендикулярно слоям на сжатие приобретают одинаковые значения при относительно меньшем расходе цемента, чем на растяжение.

Институт математики и механики
АН Армянской ССР

Поступила 20 III 1965

Կ. Ս. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ԱՆԻՉՈՏՐՈՊԻԱՅԻ ԱԶԳԵՅՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԵՏՈՆԻ ՍՈՎԷՐ ՎՐԱ՝ ԿԱՆՎԱՅ ՑԵՄԵՆՏԻ ՄԱՍԻՄՑ

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հողվածում ուսումնասիրվում է բետոնի սողքի վրա անիզոտրոպիայի ազդեցությունը սեղմման և ձգման ժամանակ՝ կախված ցիմենտի ծախսից:

Հետազոտությունները ըստց են ավել, որ անիզոտրոպիան, որը բետոնի տեղադրման ու խտացման ժամանակ ներքին շերտայնության առաջացման արդյունք է, մեծապես ազդում է բետոնի ամրության, դեֆորմատիվ հատկությունների և սողքի վրա սեղմման ու ձգման ժամանակ:

Շերտերին զուգահեռ փորձարկումների գեպքում բետոնի պրիզմայական ամրությունը և ամրությունը ձգման դեպքում մեծ են, իսկ կարճատև ու երկարատև դեֆորմացիաները փոքր են, քան շերտերին ուղղահայաց փորձարկումներում: Այս տարրերությունը ցեմենտի ծախսի մեծացումից կախված փոքրանալով՝ վերանում է:

Ցեմենտի ծախսի հետագա մեծացումը հանգեցնում է նրան, որ պրիզմայական և ձգման ամրությունները շերտերին զուգահեռ փորձարկումներում առաջվում են փոքր, իսկ դեֆորմացիաները՝ մեծ, քան շերտերին ուղղահայաց փորձարկումներում: Վերջինս առաջանում է բետոնի անհամասեղության հետևանքով, որը բետոնի տեղադրման և խտացման ժամանակ, ըստ բարձրության տարրեր ամրության և դեֆորմատիվ հատկություններով շերտերի առաջացման արդյունք է:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Карапетян К. С. Об одном существенном факторе в прочностных и деформативных свойствах бетона. ДАН АрмССР, 24, № 4, 1957.
2. Карапетян К. С. Влияние анизотропии на деформации ползучести бетона. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 10, № 6, 1957.
3. Карапетян К. С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии и растяжении в зависимости от величины напряжения. ДАН АрмССР, 34, № 1, 1964.
4. Карапетян К. С. Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии и растяжении в зависимости от масштабного фактора. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 17, № 4, 1964.
5. Писанко Г. Н. Исследования прочностных и деформативных свойств высокопрочных бетонов. Труды Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства, выпуск 36. М., 1960.
6. Штерн О. Н. Влияние различных факторов на призмную и кубиковую прочность бетона и на их отношение. Сборник статей "Методика испытания бетонных образцов на сжатие". Госстройиздат, М., 1963.