ՀԱՅԿԱԿԱՆ ՍՍՀ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԿԱԴԵՄԻԱՅԻ ԶԵԿՈՒՅՑՆԵՐ
ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР
LI 1970 1

УДК 539.376

ТЕОРИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ

К. С. Карапетян

О влиянии многократно повторной сжимающей нагрузки на прочность, деформативность и ползучесть бетона

(Представлено академиком АН Армянской ССР С. А. Амбарцумяном 21/IV 1970)

В работе приводятся результаты исследования влияния многократно повторной сжимающей нагрузки на прочность, деформативность и ползучесть бетона в зависимости от возраста бетона к моменту испытания с учетом анизотропии.

Испытанию подверглись призматические образцы размером 7×7×28 *см*, изготовленные из тяжелого бетона. Для приготовления бетона применялся шлакопортландцемент марки 600, кварцевый песок и базальтовый щебень. Состав бетона (по весу) 1:1, 78:2, 18, В/Ц=0,48, расход цемента 434 *кг* на 1 $м^3$.

Всего было приготовлено 2 замеса бетона и из каждого изготовлено по 72 призмы и необходимое количество кубиков с ребром 10 *см*. Из общего количества призм 50% бетонировалось в вертикальных, а 50%—в горизонтальных формах. Приготовление бетона производилось вручную, а уплотнение на виброплощадке при продолжительности вибрации 30 секунд. Образцы освобождались от форм через 48 часов и далее находились в помещении лаборатории в обычных температурно-влажностных условиях.

Опыты начинались с испытания контрольных образцов (ИП), которые не подвергались воздействию многократно повторной нагрузки, т. е. служили эталонами для сравнения. Испытание призм до разрушения производилось ступенчатым повышением нагрузки и выдержкой под каждой ступенью в течение одной минуты. Деформации измерялись микронными индикаторами в начале и в конце каждой выдержки.

После испытания контрольных призм образцы-близнецы подвергались воздействию многократно повторной нагрузки при характеристике цикла напряжений $\rho = \sigma_{min}/\sigma_{max} = 0{,}42$ ($\sigma_{min} = 0{,}25\,R_{пр}$, $\sigma_{max} = 0{,}6\,R_{пр}$) и частоте повторной нагрузки 560 циклов/мин. Затем после 70000 циклов повторений нагрузки указанные призмы также, по вышеописанной методике, испытывались до разрушения.

Для исследования влияния многократно повторной нагрузки на ползучесть бетона в зависимости от возраста призмы, не подвергнутые (НП), и призмы, подвергнутые (ПП) воздействию многократно повторной нагрузки, загружались длительной постоянной сжимающей нагрузкой в возрастах 8, 14, 28 и 93 суток. Относительное напряжение в момент длительного загружения для всех образцов составляло 0,4

Прочностные показатели бетона в различных возрастах приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние многократно повторной сжимающей нагрузки на призменную прочность бетона.

Возраст бетона в сутках	Направление сжимающей силы по отношению к слоям бетонирования	R_b в $кГ/см^2$ по испытаниям образцов, не подвергнутых воздействию повторной нагрузки	$R_{пр}$, $кГ/см^2$	
			образцов, не подвергнутых воздействию повторной нагрузки (НП)	образцов, подвергнутых воздействию повторной нагрузки (ПП)
7	Перпендикулярно	179	131	132
	Параллельно	178	146	129
13	Перпендикулярно	249	181	191
	Параллельно	269	196	197
27	Перпендикулярно	341	203	201
	Параллельно	323	226	220

Как известно, бетон является анизотропным материалом благодаря чему прочностные и деформативные характеристики одного и того же бетона по испытаниям образцов перпендикулярно и параллельно слоям бетонирования могут существенно отличаться, степень этого отличия зависит от большого количества факторов ([1, 2]).

Как следует из табл. 1, разница прочностей призм, испытанных перпендикулярно и параллельно слоям, незначительна (12%), что является следствием большого расхода цемента ([2]).

На основании данных табл. 1, при принятых характеристике цикла напряжений и базе испытания, многократно повторная сжимающая нагрузка практически не оказывает влияния на призменную прочность бетона. Однако, если принять во внимание те незначительные изменения призменных прочностей, которые произошли под воздействием многократно повторной нагрузки, то нетрудно заметить, что повторная нагрузка положительно сказалась на прочность призм, испытанных перпендикулярно слоям и отрицательно—на прочность призм, испытанных параллельно слоям.

Из показанных на рис. 1 двух графиков на первом приведены кривые деформаций призматических образцов, не подвергнутых (НП) и подвергнутых (ПП) воздействию многократно повторной сжимающей

нагрузки перпендикулярно слоям бетонирования, а на втором—параллельно слоям бетонирования. Как видим, в обоих случаях многократно повторная нагрузка привела не только к существенным количественным изменениям деформаций, но и к изменению характера кривых деформа-

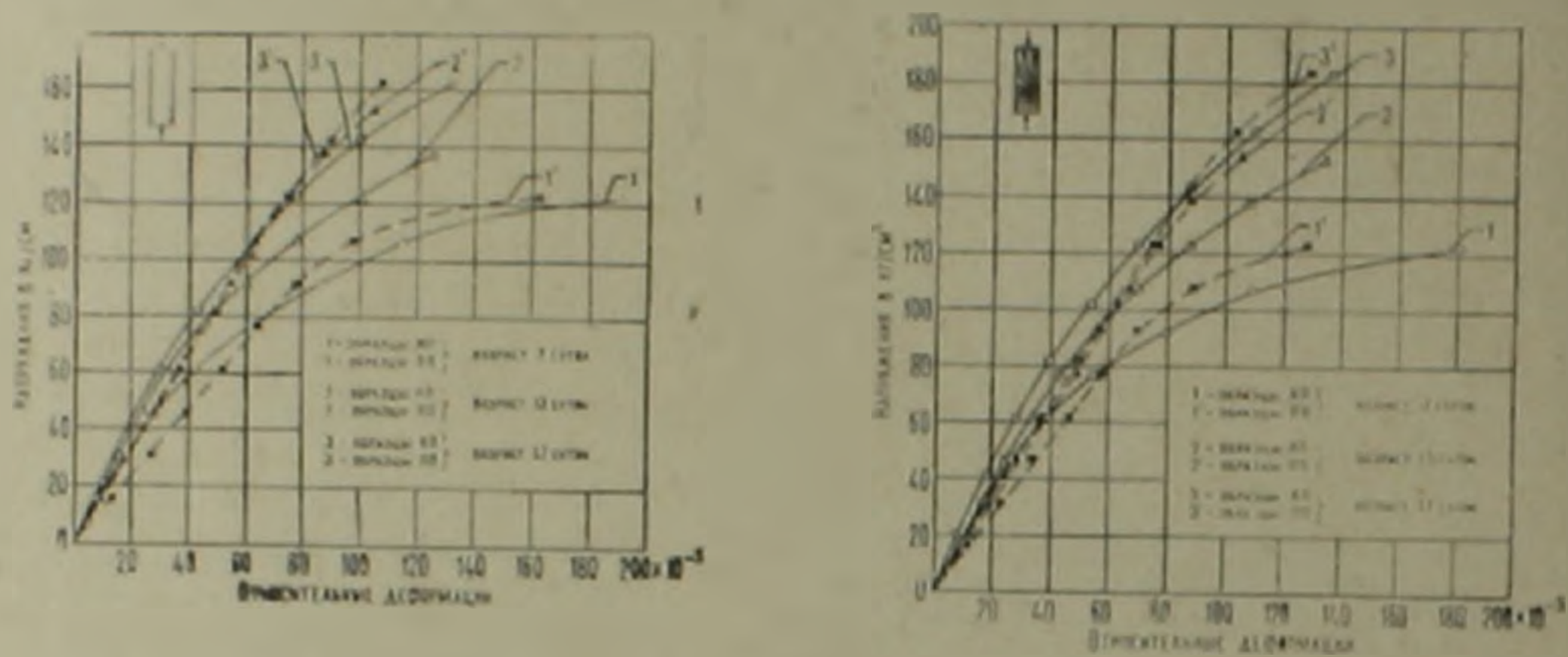


Рис. 1. Влияние многократно повторной сжимающей нагрузки на последующие деформации бетона под кратковременной сжимающей нагрузкой

ций. Независимо от возраста бетона к моменту испытания, зависимость между напряжениями и деформациями для образцов ПП до относительного напряжения 0,55—0,65 имеет линейный характер, а выше она представляет кривую, вогнутостью обращенную к оси деформаций. При этом, как правило, большая часть линейного участка зависимости $\sigma - \varepsilon$ проходит ниже кривой деформации образцов НП, а остальная часть—выше.

Изменение характера зависимости $\sigma - \varepsilon$ является результатом наложения влияний двух разных явлений, вызванных воздействием многократно повторной нагрузки. Под многократно повторной нагрузкой происходит отжатие деформаций ползучести благодаря вязкой природе цементного геля и деформаций кристаллической структуры цементного камня. Ползучесть цементного камня приводит к перераспределению напряжений с цементного камня на заполнитель, упругие деформации заполнителя увеличиваются и структура бетона уплотняется. Со сбросом повторной нагрузки частично восстанавливаются упруго-мгновенные деформации и далее частично деформации ползучести. Восстановление деформаций обусловлено обратимыми деформациями упруго-деформированного заполнителя, который стремится восстановить свою первоначальную форму, однако этому препятствует уплотненный цементный камень и в последнем, в местах контакта с заполнителем, неизбежно появляются микротрещины ([1-4]).

При повторном загружении бетонной призмы, из-за наличия микротрещин сначала деформация призмы ПП будет больше, чем деформация призмы НП, так как положительная роль уплотненной структуры бетона не может полностью компенсировать отрицательное влияние ми-

кротрещин. Однако с повышением напряжения происходит смыкание микротрещин, и их отрицательная роль с достижением напряжения, близкого к σ_{max} исчезает, а положительная роль уплотненной структуры бетона все больше становится ощутимой и благодаря этому кривая деформаций призмы ПП пересекает кривую деформаций призмы НП и располагается выше (рис. 1).

Характер кривых деформаций бетона после воздействия многократно повторной нагрузки в большей мере зависит от величины верхнего предельного напряжения повторной нагрузки (σ_{max}). В зависимости от ее величины, а также возраста бетона к моменту испытания наложе-

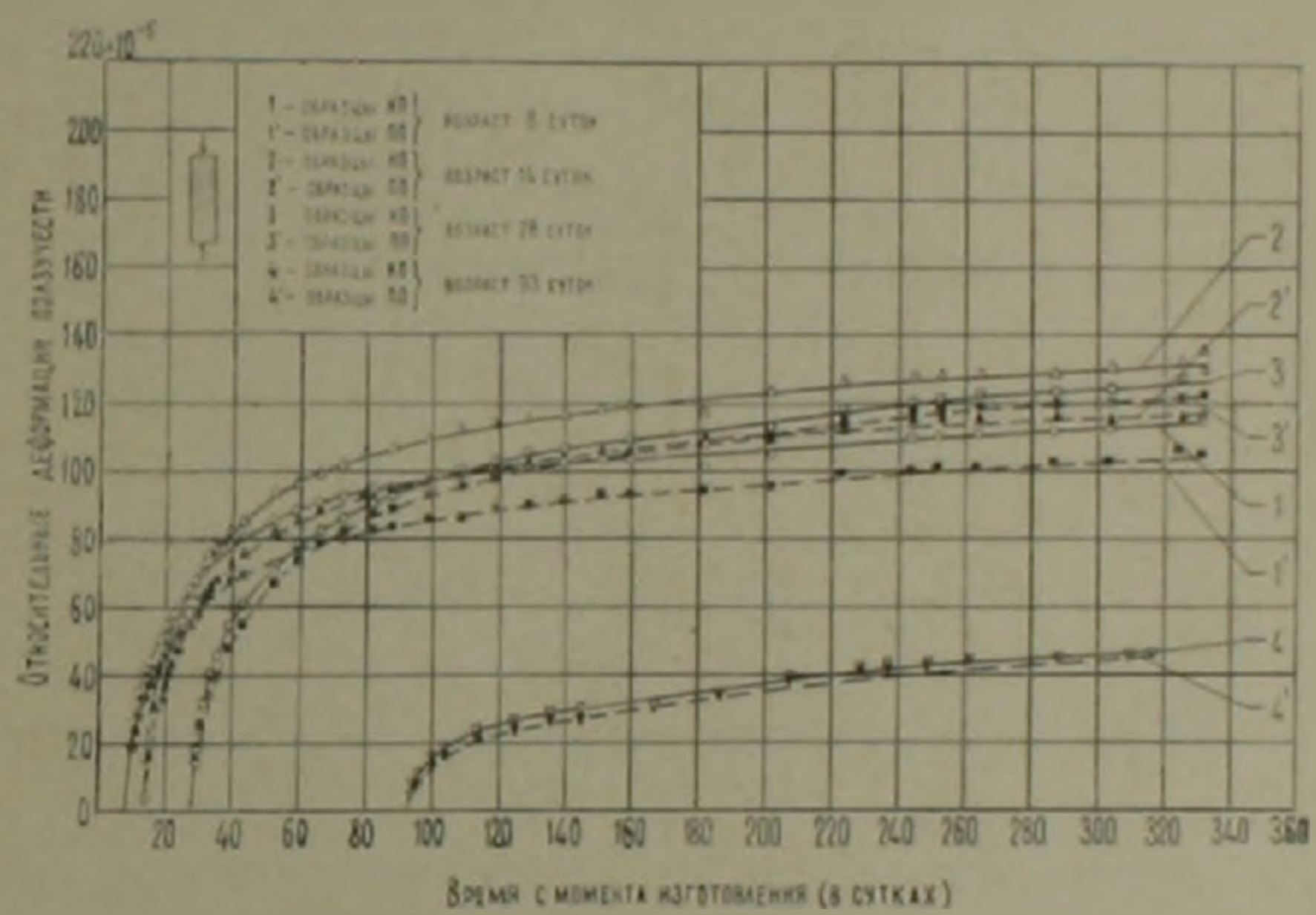
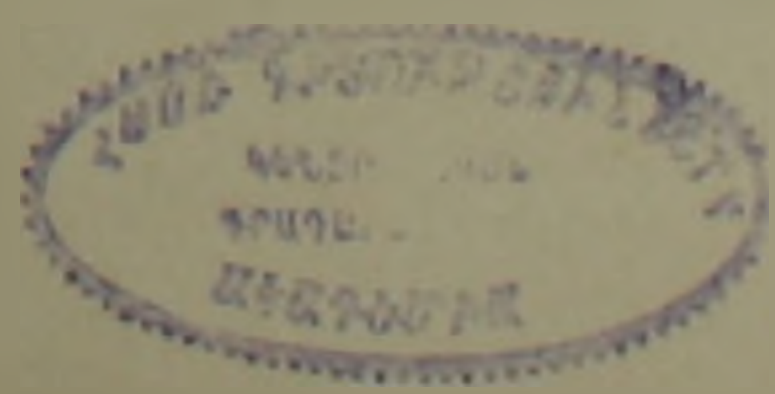


Рис. 2. Влияние многократно повторной сжимающей нагрузки на последующую ползучесть бетона под длительной постоянной сжимающей нагрузкой

ние влияний отмеченных выше двух факторов может привести к трем разным по характеру закономерностям деформаций бетона ([3]).

На основании рис. 1 влияние многократно повторной сжимающей нагрузки на деформации бетона, независимо от того испытываются образцы перпендикулярно или параллельно слоям бетонирования, с увеличением возраста бетона к моменту испытания, уменьшается. Влияние многократно повторной нагрузки на последующие деформации бетона при испытании образцов параллельно слоям более существенно, чем при испытании образцов перпендикулярно слоям.

На рис. 2 построены кривые ползучести образцов НП и ПП, испытанных перпендикулярно слоям, а на рис. 3 — такие же кривые образцов, испытанных параллельно слоям. Как видим, во всех возрастах кривая ползучести образцов ПП занимает положение ниже кривой ползучести образцов НП. Отношение деформаций ползучести образцов ПП к деформациям ползучести образцов НП для возрастов бетона 8, 14, 28,



93 суток при испытании образцов перпендикулярно слоям бетонирования соответственно составляет 0,90; 0,88; 0,97 и 0,96, а при испытании образцов параллельно слоям—0,79; 0,93; 0,73 и 0,91.

Таким образом, при принятой характеристике цикла напряжений многократно повторная сжимающая нагрузка приводит к уменьшению последующей ползучести бетона под постоянной сжимающей нагрузкой, причем тем чувствительнее, чем моложе бетон к моменту испыта-

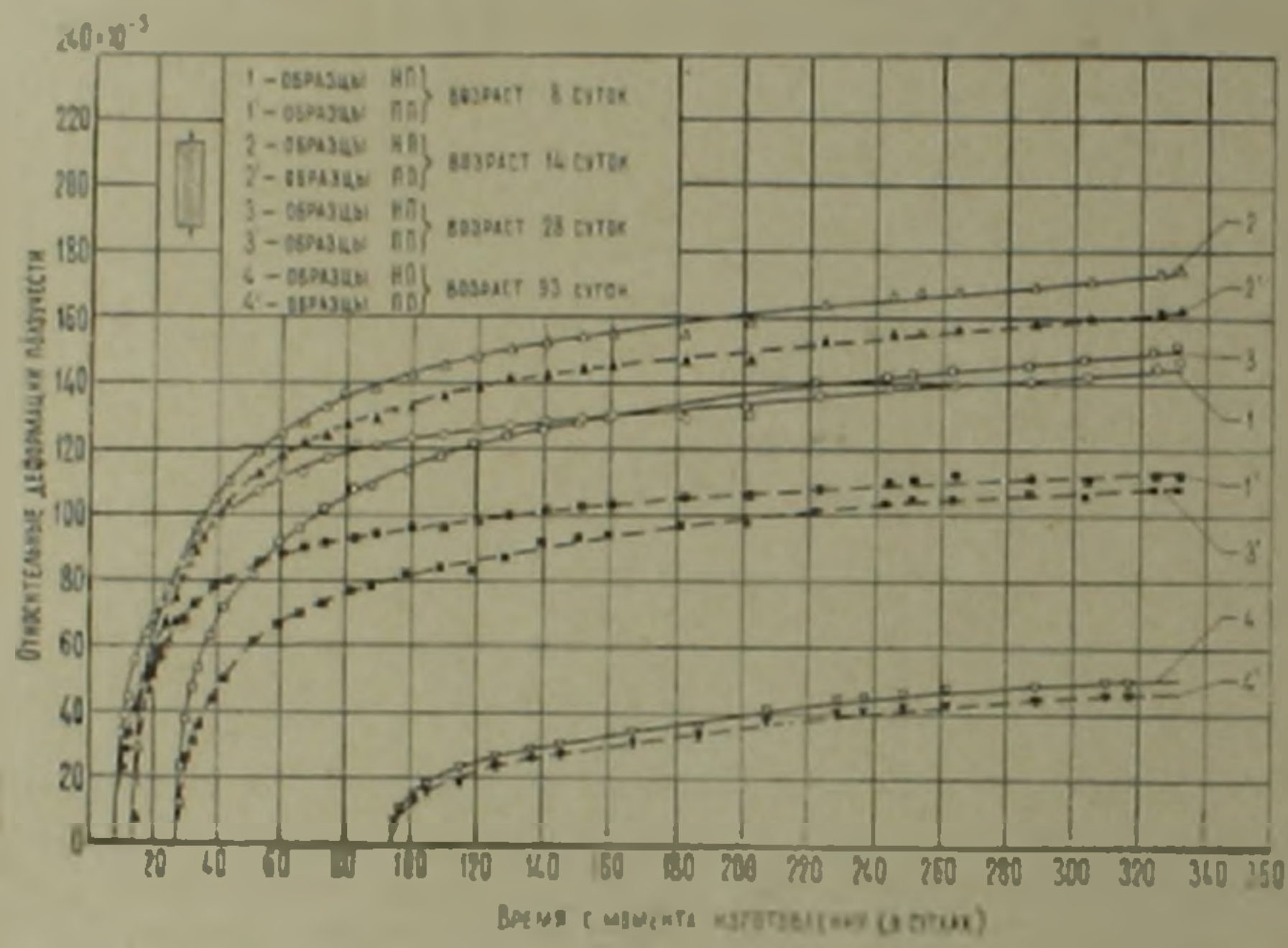


Рис. 3. Влияние многократно повторной сжимающей нагрузки на последующую ползучесть бетона под длительной постоянной сжимающей нагрузкой

ния. Влияние многократной повторной нагрузки на ползучесть бетона зависит также от ее направления к слоям бетонирования.

Согласно предложенной нами гипотезе, ползучесть бетона при сжатии до напряжения, соответствующего границе образования в бетоне микротрещин (R_1) является следствием капиллярных явлений, вязкости гелевой структурной составляющей цементного камня и деформаций кристаллической структуры цементного камня, а при более высоких напряжениях еще и следствием появления и развития микротрещин в бетоне.

Поскольку в наших опытах при воздействии многократно повторной нагрузки напряжение σ_{max} составляло 0,6 $R_{пр}$, а в процессе длительного загружения—0,4 $R_{пр}$, то деформации ползучести за счет образования и развития микротрещин отсутствовали. Ввиду кратковременности воздействия многократно повторной нагрузки отсутствовали также и деформации ползучести за счет капиллярных явлений, так как для их развития требуется более длительное время.

Таким образом, при воздействии многократно повторной нагрузки деформации ползучести в основном протекали за счет вязкости гелевой

Таблица 2

Восстановление упругих деформаций и деформаций ползучести после разгрузки образцов

Возраст бетона к моменту длительного загружения в сутках	Длительность загружения в сутках	Направление сжимающей силы по отношению к слоям бетона	Индексы образцов	Упругая деформация в момент длительного загружения $\times 10^5$	Деформация ползучести $\times 10^5$	Восстановленная часть упругой деформации $\times 10^5$	Восстановленная часть деформаций ползучести $\times 10^5$	Процент восстановления деформаций	
								упругой деформации	деформаций ползучести
8	324	Перпендикулярно	НП	28,4	114,8	22,6	9,5	80	8,3
			ПП	30,5	105,1	22,6	5,7	74	5,4
		Параллельно	НП	32,7	146,7	25,4	11,0	78	7,5
			ПП	37,5	111,5	24,5	14,1	65	12,6
14	318	Перпендикулярно	НП	36,6	135,4	31,0	10,3	85	7,6
			ПП	42,3	114,9	37,3	15,1	88	13,1
		Параллельно	НП	37,2	174,4	43,1	10,6	116	6,1
			ПП	51,0	162,8	38,3	10,6	75	6,1
28	304	Перпендикулярно	НП	41,8	129,9	37,5	15,8	89	12,2
			ПП	63,3	122,7	44,4	15,9	70	12,9
		Параллельно	НП	45,2	151,5	37,1	12,9	82	8,5
			ПП	49,8	108,6	38,4	11,9	77	10,9
93	224	Перпендикулярно	НП	37,2	46,0	30,8	12,0	83	26,1
			ПП	45,6	46,1	35,7	14,7	78	31,9
		Параллельно	НП	37,4	50,2	32,8	11,6	88	23,1
			ПП	48,0	46,0	35,9	13,0	75	28,3

структурной составляющей цементного камня и деформаций кристаллической структуры цементного камня. Как известно, ползучесть, обусловленная двумя этими факторами, с увеличением возраста бетона к моменту загружения уменьшается. Поэтому в области линейной ползучести с увеличением возраста бетона влияние многократно повторной сжимающей нагрузки на последующую ползучесть бетона под длительной статической нагрузкой должно уменьшаться, т. е. так, как это получилось в наших опытах.

Рассмотрим данные обратимости упруго-мгновенных деформаций и деформаций ползучести после разгрузки образцов из-под длительной нагрузки и наблюдений в течение 123 суток (табл. 2). На основании этих данных многократно повторная сжимающая нагрузка уменьшает обратимость упруго-мгновенных деформаций и, наоборот, увеличивает обратимость деформаций ползучести. При этом обратимость деформаций в большой мере зависит от направления как многократно повторной сжимающей нагрузки, так и длительной сжимающей нагрузки по отношению к слоям бетонирования.

Из данных табл. 2 также следует, что с увеличением возраста бетона к моменту длительного загружения обратимость упруго-мгновенных деформаций и деформаций ползучести увеличивается.

Институт математики и механики
Академии наук Армянской ССР

Կ. Ս. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

Բազմակի կրկնվող սեղմող բեռի ազդեցությունը բետոնի ամրության, դեֆորմատիվ հատկությունների և սողքի վրա

Աշխատանքում բերվում են բետոնի ամրության, դեֆորմատիվ հատկությունների և սողքի վրա բազմակի կրկնվող սեղմող բեռի ազդեցության էքսպերիմենտալ հետազոտության արդյունքները՝ կախված փորձարկման մոմենտում բետոնի հասակից. անիզոտրոպիայի հաշվառումով։

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ լարումների ցիկլի՝ $\rho = \sigma_{min}/\sigma_{max} = 0.12$ ($\sigma_{min} = 0.25R_{np}$, $\sigma_{max} = 0.6R_{np}$) *և փորձարկման բազայի՝* N *(70000 ցիկլ) ընդունված արժեքների համար, բազմակի կրկնվող սեղմող բեռը պրակտիկորեն չի ազդում բետոնի պրիզմայական ամրության վրա, բայց էապես է ազդում նրա հետագա դեֆորմացիաների վրա ինչպես կարճատև, այնպես էլ երկարատև սեղման դեպքում։*

Բազմակի կրկնվող սեղմող բեռը բերում է բետոնի սողքի փոքրացման, ընդ որում այդ ազդեցությունը մեծապես կախված է բետոնի շերտերի նկատմամբ բեռի ունեցած ուղղությունից և փորձարկման մոմենտում բետոնի հասակից։ Հասակի մեծացման հետ բազմակի կրկնվող սեղմող բեռի ազդեցությունը բետոնի սողքի վրա փոքրանում է։

ЛИТЕРАТУРА — ԳՐԱԿԱՆՈՒԹՅՈՒՆ

[1] *К. С. Карапетян*, «Известия АН АрмССР», серия физ.-мат. наук, т. 10, № 6 (1957). [2] *К. С. Карапетян*, «Известия АН АрмССР», серия физ.-мат. наук, т. 18, № 5 (1965). [3] *К. С. Карапетян*, «Известия АН АрмССР», серия физ.-мат. наук, т. 12, № 6 (1964). [4] *Ю. С. Кулыгин, И. К. Белобров*, Экспериментальное исследование ползучести бетона при многократно повторяющихся циклических нагрузках. В сб. Прочность и жесткость железобетонных конструкций, под ред. А. А. Гвоздева. Стройиздат, 1968.