

К. С. КАРАПЕТЯН, Р. А. КОТИКЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ НАПРЯЖЕНИЯМИ И ДЕФОРМАЦИЯМИ ПОЛЗУЧЕСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Ползучесть бетона при растяжении изучалась в работах Дэвиса [15], Дютрона [16], Глензиля и Томаса [17], А. В. Сатапкина [12, 13], П. И. Васильева [4], Н. И. Катина [8], А. Е. Шейкина и В. А. Николаева [14], К. С. Карапетяна [6, 7], Р. А. Котикяна [9] и других исследователей. Однако, многие вопросы ползучести бетона при растяжении еще требуют дальнейшего всестороннего исследования.

Весьма важным для теории ползучести является исследование зависимости между напряжениями и деформациями ползучести, однако этот вопрос в случае растяжения совершенно недостаточно изучен.

П. И. Васильев [4] и Н. И. Катин [8] на основании своих опытов установили, что при растяжении зависимость между напряжениями и деформациями ползучести линейна вплоть до напряжения, близкого к пределу прочности бетона. Вместе с этим есть опыты, где линейная зависимость наблюдалась до напряжения, составляющего лишь 0,6 от предела прочности бетона [6].

Учитывая необходимость более глубокого исследования этого вопроса, авторы провели большую серию длительных опытов по изучению ползучести бетона при разных постоянных растягивающих напряжениях и зависимости от возраста бетона в момент длительного нагружения, результаты которых и приводятся в настоящей статье.

Методика исследования

Для исследования зависимости между напряжениями и деформациями ползучести при растяжении опыты были поставлены на больших восьмерках сечением 10 × 10 см, высотой 60 см. Образцы были изготовлены из тяжелого бетона состава 1:1, 81:2, 19 (по весу), $B_{cc} = 0,485$. Материалами для приготовления бетона являлись базальтовый щебень, кварцевый песок и шлакопортландцемент марки 500.

Всего было приготовлено шесть замесов бетона и на каждого изготовлено по 20 восьмерок и необходимое количество кубиков с ребром 10 см. Восьмерки бетонировались в горизонтальном положении. Приготовление бетона производилось вручную, а уплотнение — на виброплощадке при продолжительности вибрации 30 сек. Образцы освобождались от форм через 48 часов и далее находились в обычных лабораторных условиях.

На длительное растяжение образцы загружались в возрастах бетона — 3; 14; 27; 84 и 280 суток при относительных напряжениях

$\sigma/R_t = 0.2; 0.4; 0.6; 0.7$ и 0.8 в каждом возрасте. Кроме этого, в возрасте 7 суток один образец был загружен относительным напряжением 0.9 . Как правило, все образцы, загружаемые в одном возрасте, принадлежали одному замесу бетона.

Для нагружения образцов высокими относительными уровнями напряжений весьма важным являлось по возможности точное определение предела прочности бетона на разрыв в момент каждого нагружения. Поэтому каждый образец-близнец, подвергавшийся кратковременному испытанию до разрушения, строго центрировался по физическому центру путем нескольких пробных нагрузок до получения примерно одинаковых деформаций по двум его граням. В каждом возрасте испытывались 2-3, а иногда и 4 образца. Испытание происходило ступенчатым нагружением и измерением продольных деформаций после каждой ступени нагрузки, составляющей примерно 0.1 от предела прочности бетона. Испытание каждого образца длилось не более 3 мин.

Длительное растяжение образцов осуществлялось с помощью специальных установок. Деформации длительно нагруженных, а также усаченных образцов измерялись перекосным деформометром, снабженным микрошным индикатором. База измерений деформаций составляла 250 мм. Количество длительно нагруженных образцов приведено в табл. 1.

Таблица 1
Количество образцов, подвергавшихся длительному растяжению

Возраст бетона (τ) в момент длительного нагружения в сутках	Количество образцов, нагруженных на длительное растяжение при относительном напряжении					
	0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9
3	2	2	2	3	1	—
7	2	3	3	2	3	1
14	2	3	3	2	2	—
27	2	3	3	2	2	—
280	2	3	3	2	1	—

Влияние возраста на прочность и упругие деформации бетона

Прочностные показатели бетона при сжатии и растяжении в различных возрастах приведены в табл. 2.

Отклонение прочности отдельного образца на растяжение от средней прочности только в одном случае доходит до 14% . Во всех же остальных случаях это отклонение незначительно. Небольшой разброс и опытных данных прочности исключает одну из тех причин, которая может привести к разбросу опытных данных ползучести бетона, особенно при высоких напряжениях.

Наращение прочности бетона как на сжатие, так и на растяжение наиболее интенсивно протекает до возраста 14 суток. После этого нарастание прочности бетона особенно на растяжение незначительно, а после возраста 84 суток наблюдается даже спад прочности.

Деформации ползучести, развивающиеся за время загрузки образцов на длительное растяжение, которое обычно длилось не более 3-4 минут, в дальнейшем были отделены от упруго-мгновенных деформаций и включены в общие деформации ползучести. Для этого были использованы данные испытаний образцов-близнецов под кратковременной растягивающей нагрузкой.

Таблица 2

Характеристики прочности бетона

t, в сут. мал	$R_{\text{сж}}$ в кг/см ²	R в кг/см ²		σ в % отклонения прочности от- дельного образ- ца от средней прочности	Прочность бетона в % от месячной прочности		$\frac{R}{R_{\text{сж}}}$
		отдель- ных об- разцов	средняя		R_1	R_2	
3	114	7.4	7.7	-1.0	44	53	0.067
		7.8		-1.3			
		8.1		5.2			
		7.6		-1.3			
		9.1		+7.0			
7	180	9.2	8.5	+8.2	74	60	0.044
		7.3		-14.0			
		11.3		+7.0			
14	230	10.2	10.6	-4.0	86	75	0.048
		14.1		+0.7			
27	258	14.3	14.2	0.7	100	100	0.055
		14.5		+0.7			
84	283	14.2	14.1	-1.4	110	101	0.051
		12.3		0			
280	308	12.3	12.3	0	116	87	0.044
		12.3		0			

Экспериментальные кривые кратковременных деформаций аппроксимировались по корреляционному уравнению

$$\epsilon = \frac{a + R_2}{1 + bR_2/R_1} \quad (1)$$

Наличие между обратными значениями величин ϵ и R_2/R_1 уравнения (1) линейной зависимости взаимно облегчало вычисление параметров a и b .

Для оценки линейности корреляционных уравнений вычислялся критерий $F = F_{\text{кр}} - r_{11}$ и его основная ошибка $\Delta F = 1/\sqrt{n}$ где r_{11} — коэффициент корреляции, n — число точек экспериментальной кривой [11].

Связь между двумя статистическими величинами можно считать линейной, если выполняется неравенство

$$\epsilon : \epsilon_0 < 3 \quad (2)$$

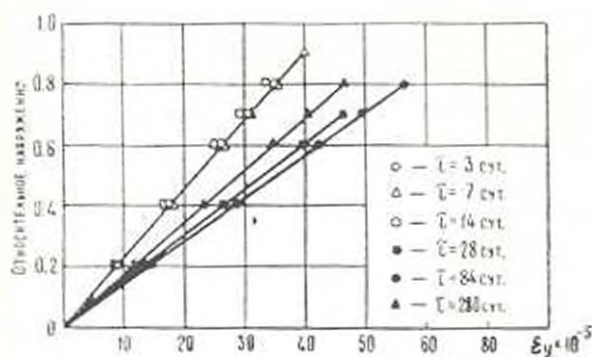
В наших экспериментах $\epsilon : \epsilon_0 < 0.7$, а это означает, что корреляция между обратными значениями ϵ и R существенно линейна.

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

$$E = \frac{R}{a} \left(1 - b \frac{\epsilon}{R_p} \right) \quad (3)$$

где R_p представляет начальный модуль деформации бетона.

На фиг. 1 приведен график зависимостей упруго-мгновенных деформаций от относительного уровня напряжений. Как видим, при всех возрастах эти зависимости линейны почти до предела прочности бетона.



Фиг. 1.

Проведенные ранее исследования одного из авторов показали, что при сжатии как упруго-мгновенные, так и полные деформации бетона при одинаковых уровнях напряжений не зависят от возраста бетона [5]. Согласно фиг. 1, при растяжении то же самое имеет место до возраста бетона 14 суток, а с дальнейшим увеличением возраста деформации возрастают.

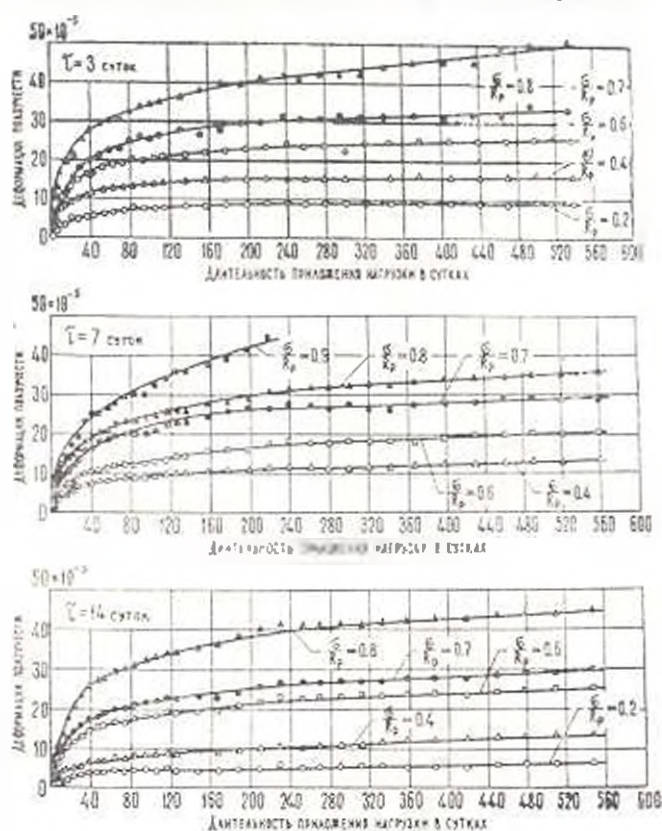
В табл. 3 приведены значения модулей деформаций бетона при растяжении, которые определялись по формуле (3).

По данным табл. 3 нарастание модуля деформации прекращается в возрасте бетона 14 суток и далее наблюдается его спад по времени. Нетрудно также заметить, что во всех возрастах модуль деформации бетона по касательной при $\epsilon/R_p = 0.25$ равен модулю деформации по хорде при $\epsilon/R_p = 0.5$.

Зависимость между напряжениями и деформациями ползучести при растяжении

На фиг. 2 и 3 приведены 6 графиков экспериментальных кривых ползучести бетона, каждый из которых соответствует одному возрасту бетона. В этих опытах образцы, загруженные в возрастах 3, 7,

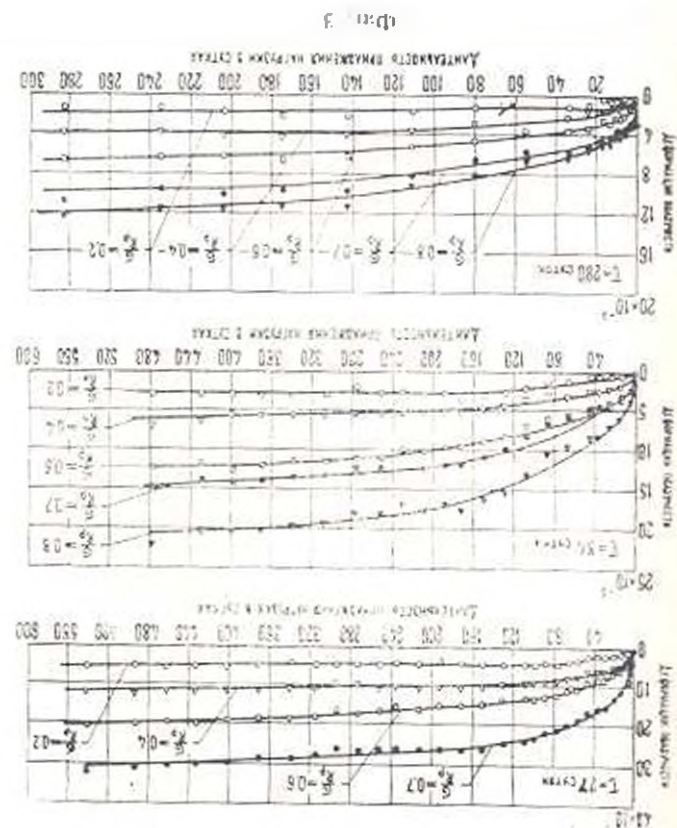
14, 27, 84 и 280 *суток*, находились под длительной растягивающей нагрузкой соответственно 557, 547, 539, 477 и 280 *суток*.



Фиг. 2.

Из всех графиков нетрудно заметить, что наиболее интенсивно во времени развивались деформации ползучести того образца, который был загружен в возрасте 7 *суток* относительным уровнем напряжения 0.9. Интенсивный рост деформаций ползучести привел к его разрушению на 218 *суток*. Во всех остальных случаях кривые ползучести образцов, загруженных даже в старом возрасте (84 и 280 *суток*) относительными уровнями напряжений 0.7 и 0.8, имеют затухающий характер.

Анализ результатов опытов (фиг. 2 и 3) приводит к выводу, что при растяжении деформации ползучести, начиная с малых напряжений, развиваются не пропорционально напряжениям. Однако, до определенного уровня напряжений отклонение от линейного закона незначительно и поэтому без особой погрешности можно принять, что зависимость между напряжениями и деформациями ползучести линейна. Относительный уровень напряжения, до которого сохраняется линейная зависимость, как и при сжатии [5], в большой мере зависит от возраста бетона к моменту длительного нагружения. Более наглядно это видно на фиг. 4 и 5, где на каждом графике приведены экспериментальные



Исследование выполнено в рамках государственного задания на выполнение работ по фундаментальной науке.

теоретичний аспект при розкритті

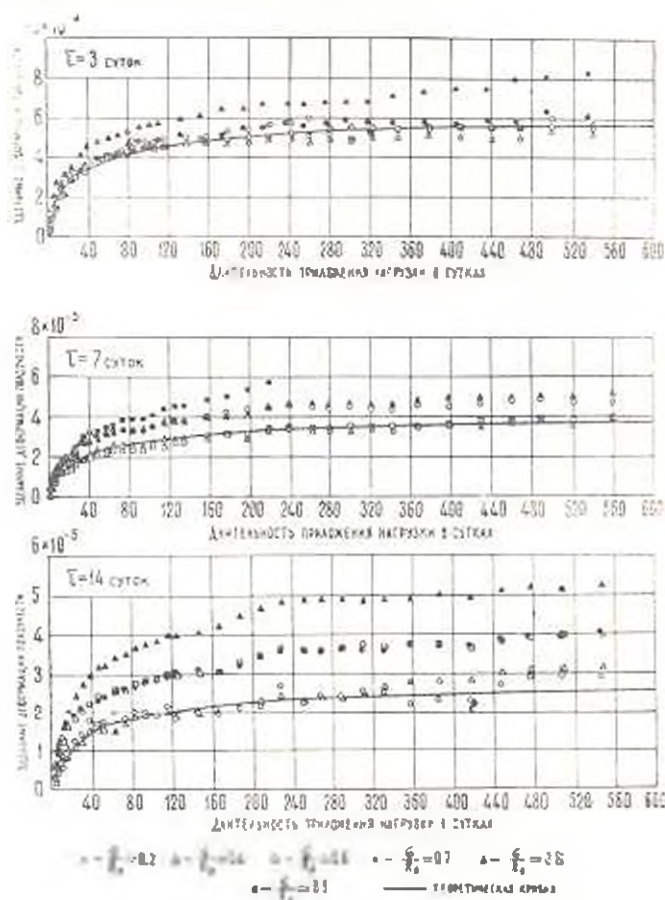
Хотелось бы отметить, что в настоящее время в нашей стране не существует единого законодательства, регулирующего деятельность органов государственной власти по защите прав потребителей. В настоящее время в нашей стране не существует единого законодательства, регулирующего деятельность органов государственной власти по защите прав потребителей.

And in fact, $K_n = K_{n-1} \cup \{x_n\}$.

3	175	160	145	131	154
7	192	176	161	146	176
11	255	196	145	162	193
15	1.00	0.92	0.84	0.76	0.92
19	1.00	0.97	0.84	0.76	0.97
23	1.00	0.91	0.83	0.75	0.91
27	216	181	149	120	180
31	204	171	141	113	169
35	213	172	135	102	169
39	1.00	0.81	0.63	0.48	0.79
43	1.00	0.81	0.69	0.55	0.83
47	1.00	0.84	0.69	0.56	0.83
51	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
55	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
59	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
63	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
67	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
71	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
75	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
79	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
83	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
87	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
91	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
95	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
99	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
103	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
107	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
111	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
115	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
119	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
123	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
127	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
131	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
135	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
139	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
143	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
147	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
151	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
155	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
159	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
163	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
167	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
171	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
175	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
179	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
183	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
187	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
191	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
195	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
199	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
203	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
207	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
211	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
215	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
219	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
223	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
227	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
231	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
235	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
239	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
243	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
247	1.00	0.81	0.69	0.56	0.83
251	1.00	0.81	0.69	0.56	0

ментальные точки кривых удельных деформаций и эластичности, соответствующих разным уровням напряжений, а также теоретическая кривая удельных деформаций ползучести, соответствующая линейной области ползучести.

На основании фиг. 4 и 5 относительный уровень напряжения, до которого может быть принята линейная зависимость между напряжениями и деформациями ползучести, для $\tau = 3$ суток составляет 0.7, а для $\tau = 7$ суток — примерно 0.5–0.6.



(Фиг. 4)

Как видно из фиг. 2 и 3, деформации ползучести бетона при растяжении, особенно при нагружении в возрастах 3, 7 и 14 суток, достигли значительных величин. Более наглядное представление об этом дают данные табл. 1, где приведены упруго-мгновенные деформации, деформации ползучести и характеристики ползучести бетона при различных τ и R . Как видим, характеристика ползучести бетона при $\tau = 3$ суток и $R_b = 0.2$ составляет 10, то есть столько, во сколько раз деформации ползучести больше упруго-мгновенных де-

формаций. При $\varepsilon_{R_1} = 0.8$ характеристика полнотелости возрастает в 1.43 раза.

Таблица 4

Влияние возраста бетона и относительного напряжения в момент длительной загрузки на упруго-мгновенные деформации, деформации полнотелости и характеристику полнотелости

Возраст бетона, сут	Показатели	Показатели, когда относительное напряжение составляет					
		0.2	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9
3	$\varepsilon_y \cdot 10^5$	0.87	1.74	2.61	3.04	3.47	—
	$\varepsilon_n \cdot 10^5$ (при $t = 550$ сут)	0.87	18.24	30.67	39.01	49.49	—
	$\bar{\varepsilon}_1 = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	10.0	10.5	11.8	12.8	14.3	—
7	$\varepsilon_y \cdot 10^5$	0.89	1.77	2.66	3.10	3.54	4.08
	$\varepsilon_n \cdot 10^5$ (при $t = 550$ сут)	6.37	13.15	23.13	29.86	38.49	49.61
	$\bar{\varepsilon}_1 = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	7.2	7.6	8.7	9.6	10.9	12.5
14	$\varepsilon_y \cdot 10^5$	0.83	1.66	2.49	2.91	3.33	—
	$\varepsilon_n \cdot 10^5$ (при $t = 550$ сут)	5.43	11.81	21.62	29.02	38.96	—
	$\bar{\varepsilon}_1 = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	6.5	7.1	8.7	10.0	11.7	—
28	$\varepsilon_y \cdot 10^5$	1.31	2.63	3.94	4.60	—	—
	$\varepsilon_n \cdot 10^5$ (при $t = 550$ сут)	5.06	11.42	22.43	31.34	—	—
	$\bar{\varepsilon}_1 = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	3.9	4.3	5.7	6.8	—	—
84	$\varepsilon_y \cdot 10^5$	1.41	2.82	4.24	4.94	5.65	—
	$\varepsilon_n \cdot 10^5$ (при $t = 550$ сут)	3.30	6.98	12.01	15.51	20.00	—
	$\bar{\varepsilon}_1 = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	2.3	2.5	2.8	3.1	3.5	—
280	$\varepsilon_y \cdot 10^5$	1.16	2.31	3.46	4.04	4.62	—
	$\varepsilon_n \cdot 10^5$ (при $t = 550$ сут)	2.23	4.65	7.75	9.79	12.34	—
	$\bar{\varepsilon}_1 = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	1.9	2.0	2.2	2.4	2.7	—

Как общая закономерность, из данных табл. 4 следует, что с увеличением относительного напряжения характеристика полнотелости возрастает, а с увеличением возраста бетона к моменту загрузки — уменьшается.

Увеличение растяжимости бетона благодаря полнотелости является весьма положительным фактором, так как полнотелость может привести к существенной релаксации температурных и усадочных напряжений в бетоне и тем самым отодвинуть момент образования трещин. А чем больше полнотелость, тем больше ее положительная роль.

Описание экспериментальных кривых ползучести

Многочисленными исследованиями различных авторов показано, что теория упруго-ползучего тела является наиболее строгой и общей из всех теорий ползучести и сравнительно хорошо описывает экспериментальные кривые ползучести бетона. Поэтому и в данной работе для описания кривых ползучести при постоянных растягивающих напряжениях мы воспользовались этой теорией [2].

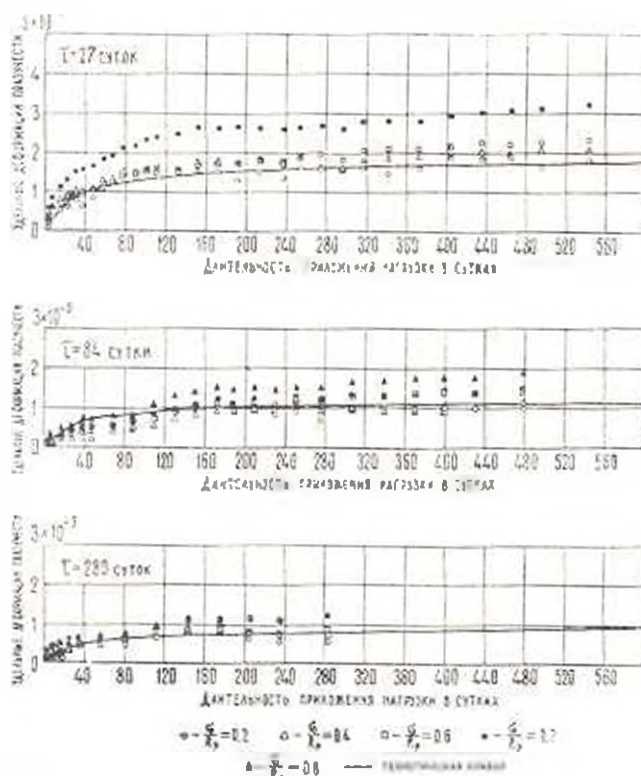
Как известно, аналитическое выражение меры ползучести бетона, предложенное Н. Х. Арутюняном, имеет следующий вид:

$$C(t, \tau) = \varphi(\tau)f(t - \tau) \quad (4)$$

где $\varphi(\tau)$ — функция старения, а $f(t - \tau)$ — функция длительности нагружения.

В раскрытом виде формула (4) пишется так:

$$C(t, \tau) = \left(C_0 + \frac{A}{\tau} \right) [1 - e^{-\alpha(t-\tau)}] \quad (5)$$



Фиг. 5

Вот уже много лет в наших исследованиях при описании кривых ползучести бетона для $C(t, \tau)$ мы используем выражение

$$C(t, \tau) = \left(C_0 + \frac{A}{\tau} \right) [1 - 0.5 (e^{-\frac{t-\tau}{\tau_1}} - e^{-\frac{t-\tau}{\tau_2}})] \quad (6)$$

где C_0 , A , τ_1 и τ_2 — коэффициенты, определяемые из опыта.

В таком виде выражение (5) приобретает некоторую гибкость и одновременно сохраняет свою простоту.

В результате описания кривых ползучести бетона от единичного напряжения для меры ползучести при растяжении получено следующее выражение:

$$C(t, \tau) = \left(0.8 + \frac{30.15}{3.17 + \tau} \right) [1 - 0.5 (e^{-\frac{t-\tau}{1000}} - e^{-\frac{t-\tau}{10000}})] \cdot 10^{-4} \quad (7)$$

Тогда для линейной области деформация ползучести будет равна

$$\varepsilon_n(t, \tau) = \left(0.8 + \frac{30.15}{3.17 + \tau} \right) [1 - 0.5 (e^{-\frac{t-\tau}{1000}} - e^{-\frac{t-\tau}{10000}})] \cdot \tau \cdot 10^{-4} \quad (8)$$

Как уже было показано в наших экспериментах, начиная с небольших напряжений, наблюдалась нелинейная зависимость между напряжениями и деформациями ползучести и нелинейность деформаций возрастала с увеличением напряжения. Однако, учитывая то, что отклонение от линейной зависимости до определенного уровня напряжений незначительно, мы сочли возможным принятие линейной зависимости.

В теории нелинейной ползучести принято, что кривые ползучести бетона при различных напряжениях аффинно подобны [1—4] и деформация ползучести определяется зависимостью

$$\varepsilon_n(t, \tau) = F(\sigma) C(t, \tau) \quad (9)$$

где $F(\sigma)$ — некоторая нелинейная функция напряжений, которая, согласно Н. Х. Арутюняну и П. И. Васильеву, в частном случае может быть представлена в следующем виде:

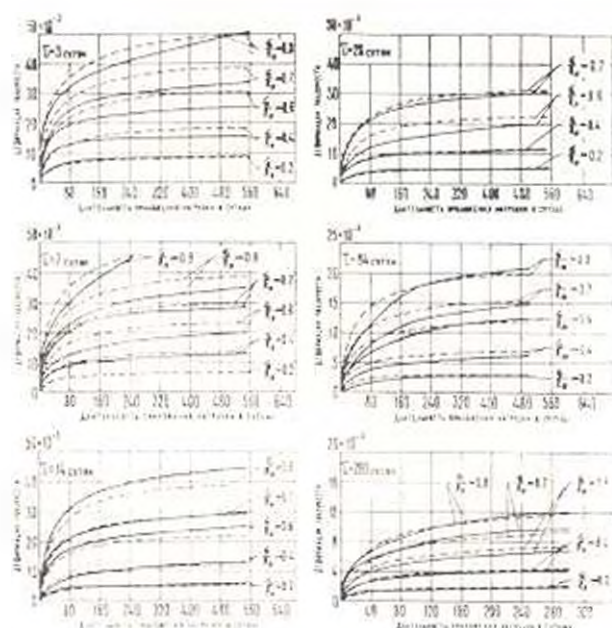
$$F(\sigma) = \alpha + \beta \sigma^n \quad (10)$$

При этом должно быть удовлетворено условие $F(1) = 1$, а для этого необходимо, чтобы $\alpha + \beta = 1$.

Подставляя в формулу (9) выражение $F(\sigma)$, получим

$$\varepsilon_n(t, \tau) = C(t, \tau) [\alpha + \beta \sigma^n] \quad (11)$$

Однако, зависимость (11) в таком виде в большинстве случаев неудовлетворительно описывает кривые ползучести стареющего бетона, особенно при длительных опытах. Это обстоятельство вызвано тем, что аффинное подобие кривых ползучести при высоких напряжениях нарушается. Поэтому, чтобы удовлетворительно описать кривые ползучести выражением (11), необходимо входящие в нее коэффициенты α и β принять переменными, зависящими от длительности загрузки (t_1) и возраста бетона к моменту длительного нагружения (τ) [5, 8, 10].



Фиг. 6

Исследования показали, что в данном случае, чтобы не очень усложнять зависимость (11) в случае описания кривых ползучести бетона при растяжении, можно удовлетвориться принятием коэффициентов β и γ , зависящими только от τ .

Таким образом, окончательно было принято, что

$$\begin{aligned} F(\tau, z) &= \gamma(\tau)z + \beta(\tau)z^2 \\ \gamma(\tau) + \beta(\tau) &= 1 \end{aligned} \quad (12)$$

На основании зависимостей (12) можно записать

$$F(\tau, z) = z[1 + \beta(\tau)(z^2 - 1)] \quad (13)$$

Для коэффициента нелинейности $\beta(\tau)$ нами получено следующее выражение:

$$\beta(\tau) = 0.000516 + \frac{1.54 + 0.035\tau}{1079 + \tau^2} \quad (14)$$

Тогда деформация ползучести $\varepsilon_c(t, z)$ будет равна

$$\begin{aligned} \varepsilon_c(t, z) &= \left(0.8 - \frac{30.15}{3.17 + \tau}\right) \left[1 - 0.5(e^{-0.000174(t-1)} + e^{-0.000116(t-1)})\right] \\ &\quad \left|1 + \left(0.000516 + \frac{1.54 + 0.035\tau}{1079 + \tau^2}\right)(z^2 - 1)\right| z \cdot 10^{-4} \end{aligned} \quad (15)$$

Кривые ползучести, рассчитанные по зависимости (15), пунктиром нанесены на фиг. 6 и, как видим, зависимость (15) вполне удов-

довольительно описывает все семейства экспериментальных кривых ползучести, показанные сплошными линиями.

Если в выражение (15) подставить $\tau = 1$, то из него получится выражение меры ползучести (7).

В ы в о д ы

1. Зависимости между напряжениями и упругими деформациями бетона при растяжении линейны вплоть до момента разрушения бетона.

2. При растяжении деформации ползучести, начиная с малых напряжений, растут непропорционально напряжениям. Однако, до определенного относительного напряжения отклонение от линейного закона незначительно и поэтому без особой погрешности можно принять, что зависимость между напряжениями и деформациями ползучести линейна.

Относительное напряжение, до которого может быть принята линейная зависимость, в большой мере зависит от возраста бетона к моменту длительного нагружения. Для $\tau = 3$ суток это относительное напряжение составляет 0.7, а для $\tau \geq 7$ суток — 0.5-0.6.

3. При функции напряжений и форме (12) теория упруго-ползучего тела весьма удовлетворительно описывает также кривые нелинейной ползучести бетона при постоянных растягивающих напряжениях.

4. Характеристика ползучести бетона при растяжении в большой мере зависит от возраста бетона τ и относительного напряжения σ/R в момент длительного нагружения, а также от длительности нагружения t_1 . С увеличением σ/R и t_1 характеристика ползучести увеличивается, а с увеличением τ уменьшается.

Для $\tau = 3$ суток и $t_1 = 550$ суток характеристика ползучести при $\sigma/R = 0.2$ составляет 10.0, а при $\sigma/R = 0.8$ — 14.3. Увеличение τ от 3-х до 280 суток приводит к уменьшению характеристики ползучести почти в 5.3 раза.

5. Существенное увеличение растяжимости бетона благодаря ползучести является весьма положительным фактором, так как ползучесть может привести к значительной релаксации температурных и усадочных напряжений в бетоне и тем самым намного отодвинуть момент появления трещин.

Институт математики и механики

АН Армянской ССР

Поступила 22 IX 1970

И. В. ЧИРЧОЗЯЦ, О. И. ЧИРЧОЗЯЦ

ՄԱՐԿԵՏԻՆԻ ԵՎ ՈՍԿԵՐ ԳԵՅՐԱՊԱՆԴՐՈՒՄԻ ՎԵՐԻ ԶԵՏԱԶՆՈՒՄԸ

ՀԱՅԿԱՆ ԳԵՂԵՐՈՒ

Ա թ փ ո փ ո թ թ

Աշխատանքը նվիրված է հասարակական ձգտող բարոյագիտության կենտրոնական և տեղական մասնաճյուղերի, կադրային քննադատական մոմենտում բնական հասարակության և բարոյագիտության մեթոդականությանը

5 Известия АН Армянской ССР, Механика, № 5

Հետազոտությունները ցույց են տալիս, որ ձգման զեպքում սկսած փոքր լարումներից, լարումների և սողքի զեֆորմացիաների կոպր զմալին չեն Ստեփան մինչև մի սրտչակի լարում ոչ զմալնաթյունը Հապեն չի արտա-
նայում և դարելի է մոտավոր ձևով բնզանել զմալին կոպ:

Հարումների հարաբերական աաճմանը, մինչև սրտեղ պաճպանում է մոտավոր զմալին կոպը, Հապեն կախում է բեանաբուման մոմենտում բե-
տանի հասակից: Այսպես, $\sigma = 3$ որ հասակի համար լարումների և սողքի զեֆորմացիաների մինչև զմալին կոպը պաճպանում է մինչև $R_0 = 0.7$ հարաբերական լարմանը, իսկ $\sigma > 7$ որի զեպքում մոտավորապես $0.5 - 0.6$

Հզման զեպքում սողքի բնաթապիրը նախնակ Հապեն կախում է բեանաբուման մոմենտում բետանի հասակից և հարաբերական լարումների մեծաթյուններից: Սողքի բնաթապիրը հարաբերական լարումների մեծաթ-
ման հեա տնում է, իսկ հասակի մեծաթման հեա՝ նմադում: 3 սրտան հա-
տավում է $R_0 = 0.2$ հարաբերական լարման զեպքում սողքը մոտ 10 տն-
զում մեծ է համադրատախան առաձգական զեֆորմացիայից:

Հետազոտությունները ցույց են տալիս նաև, որ առաձգա-սողքալին մարմնի զմալին սողքի աեաթյունը բախվածուաչափ լավ է գրանցում հաև
ոչ զմալին սողքի էրադրիմենտալ կրերը հաաաաաան ձողղ լարումների զեպքում և թե լարումների ֆոնեկրիան բնաբում է համադրատախան ձևով

THE INVESTIGATION OF STRESS-STRAIN RELATION OF CREEP UPON TENSION

K. S. KARAPETIAN, R. A. KOTIKIAN

S u m m a r y

The paper deals with the creep of concrete at permanent tension stresses depending on the age of concrete at the moment of loading and on the value of stresses. The studies show that upon tension beginning with small stresses the dependence between stresses and strains of creep is not linear. However, up to a certain stress the nonli-
nearity is manifested insignificantly. A relative limit of stresses up to which approximate linear relationship is maintained depends largely on the age of concrete at the moment of loading.

The characteristic of creep upon tension also depends on the age of concrete at the moment of loading and on the value of relative stresses. The characteristic of creep increases with an increase in relative stresses and decreases with an increase in age.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян Н. X. Некоторые вопросы теории ползучести. Докл. АН Арм. ССР, т. 14, № 3, 1951.
2. Арутюнян Н. X. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехтеоретиздат, М.—Л., 1952.
3. Васильев П. И. Связь между напряжениями и деформациями бетона при сжатии с учетом влияния времени. Изв. ВНИИГ, т. 45, 1951.

4. *Васильев П. И.* Некоторые вопросы пластических деформаций бетона. Изв. ВНИИГ, т. 49, 1953.
5. *Карпетян К. С.* Влияние старения бетона на зависимость между напряжениями и деформациями ползучести. Изв. АН Арм. ССР, сер. физ.-мат. науки, т. 12, № 1, 1959.
6. *Карпетян К. С.* Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии и растяжении в зависимости от величины напряжений. Докл. АН Арм. ССР, т. 39, № 1, 1964.
7. *Карпетян К. С.* Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии и растяжении в зависимости от масштабного фактора. Изв. АН Арм. ССР, сер. физ.-мат. науки, т. 17, № 4, 1964.
8. *Катин Н. И.* Исследование ползучести бетона при двохосных напряжениях. Исследования свойств бетона и железобетонных конструкций. Гр. НИИЖБ, вып. 4, Госстройиздат, 1959.
9. *Котиян Р. А.* Ползучесть бетона при двухосном растяжении. Изв. АН Арм. ССР, Механика, т. XXI, № 1, 1968.
10. *Мельник Р. А.* Исследование функций напряжений для аналитического выражения ползучести бетона. Изв. вузов МВ и ССР СССР, „Строительство и архитектура“, № 4, Новосибирск, 1963.
11. *Митропольский А. К.* Техника статистического вычисления. М., 1961.
12. *Сатакия А. В.* Ползучесть бетона. Сб. „Прочность, упругость и ползучесть бетона“. Стройиздат Наркомстроя, 1941.
13. *Сатакия А. В.* Деформационная способность бетона. Сб. АНИЖТ, вып. 10, Трансжелдориздат, 1951.
14. *Шейкин А. К., Николаев В. П.* Об упруго-пластических свойствах бетона при растяжении. „Бетон и железобетон“, № 9, 1939.
15. *Dunn R., Davis H., Hamilton J.* Plastic flow of concrete under sustained stress. „Proceedings of the American Society for testing materials“, part II, 1934.
16. *Dutton R.* Deformation lente du beton et du beton arme sous l'action des charges permanentes. „Annales des Travaux Publics de Belgique“, 1936, 1937.
17. *Glauville H. H., Thomas F. G.* Further investigations on the creep or flow of concrete, IV. Building Research Technical Paper, № 21, London, 1939.