

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], Гленвила и Томаса [17], А. В. Саталкина [12, 13], П. И. Васильева [4], Н. И. Катина [8], А. Е. Шейкина и В. Л. Николаева [14], К. С. Карапетяна [6, 7], Р. А. Котикина [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), $B/C = 0.485$. Материалами для приготовления бетона являлись базальтовый щебень, кварцевый песок и шлакопортландцемент марки 500.

Всего было приготовлено шесть замесов бетона и из 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 $t = 3; 14; 27; 84$ и 280 суток при относительных напряжениях

$\sigma/R_0 = 0.2; 0.4; 0.6; 0.7$ 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 носило ступенчатый характер: нагружение 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 усадочных образцов измерялись переносным деформометром, снабженным микронным индикатором. База измерений деформаций составляла 250 мм. Количество длительно нагруженных образцов приведено в табл. 1.

Таблица 1
Количество образцов, подвергнутых длительному растяжению

Возраст бетона (-) 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 достигает до 14% . Во всех же остальных случаях это отклонение незначительно. Небольшой разброс в 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 нагружения 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

τ в сут-ках	R_k в кг/см ²	R_p в кг/см ²		σ_{δ} отклонения прочности отдельного образца от средней прочности	Прочность бетона в % от месячной прочности		R_p/R_k
		отдельных образцов	средний		R_c	R_p	
3	114	7.4	7.7	-4.0	44	53	0.067
		7.8		-1.3			
		8.1		-5.2			
		7.6		-1.3			
7	180	9.1	8.5	+7.0	74	60	0.044
		9.2		+8.2			
		7.3		-14.0			
14	230	11.3	10.6	-7.0	86	75	0.048
		10.2		-4.0			
27	258	14.1	14.2	-0.7	100	100	0.055
		14.3		0.7			
84	283	14.5	14.4	+0.7	110	101	0.051
		14.2		-1.4			
280	308	12.3	12.3	0	116	87	0.044
		12.3		0			

Экспериментальные кривые кратковременных деформаций аппроксимировались по корреляционному уравнению

$$\varepsilon = \frac{a\tau/R_p}{1 - b\tau/R_p} \quad (1)$$

Наличие между обратными значениями величин ε и τ/R_p уравнения (1) линейной зависимости намного облегчило вычисление параметров a и b .

Для оценки линейности корреляционных уравнений вычислялся критерий $\bar{r} = 1 - r_{11}$ и его основная ошибка $\bar{\sigma}_r = \sqrt{\bar{r}/n}$ где r_{11} — коэффициент корреляции, n — число точек экспериментальной кривой [11].

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

$$\varepsilon/\varepsilon_p < 3 \quad (2)$$

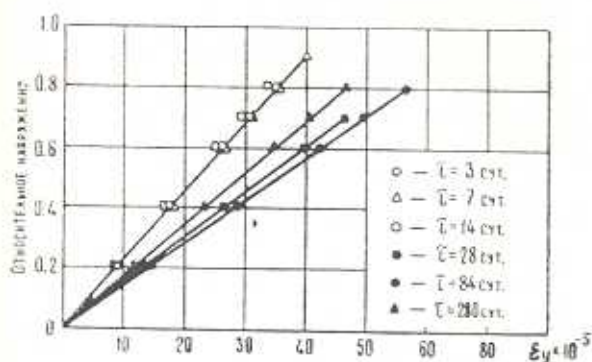
В наших экспериментах $\varepsilon/\varepsilon_p < 0.7$, а это означает, что корреляция между обратными значениями ε и ε/R_p существенно линейна.

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

$$E = \frac{R_p}{a} \left(1 - b \frac{\varepsilon}{R_p} \right)^2 \quad (3)$$

где R_p/a 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.

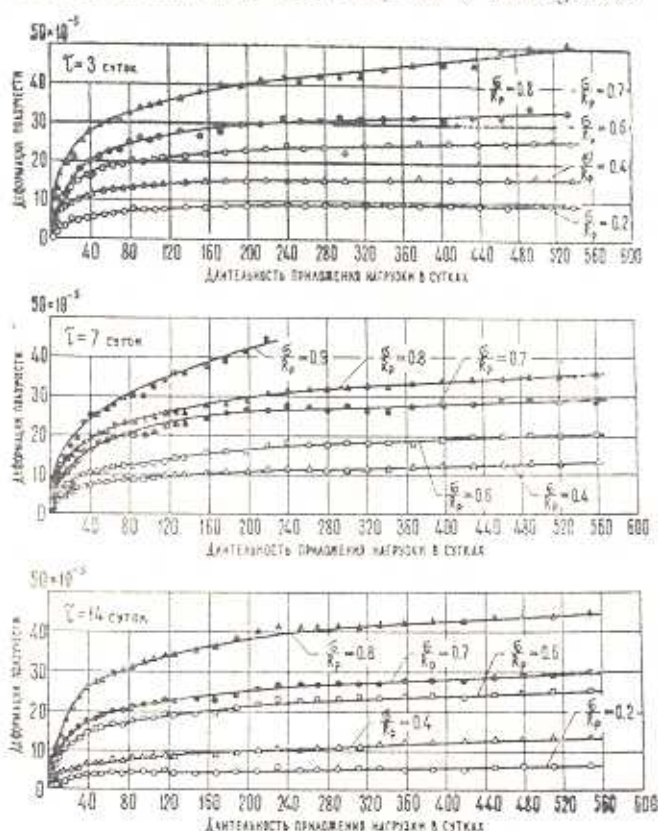
В табл. 3 приведены значения модулей деформаций бетона при растяжении, которые определялись по формуле (3).

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

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,

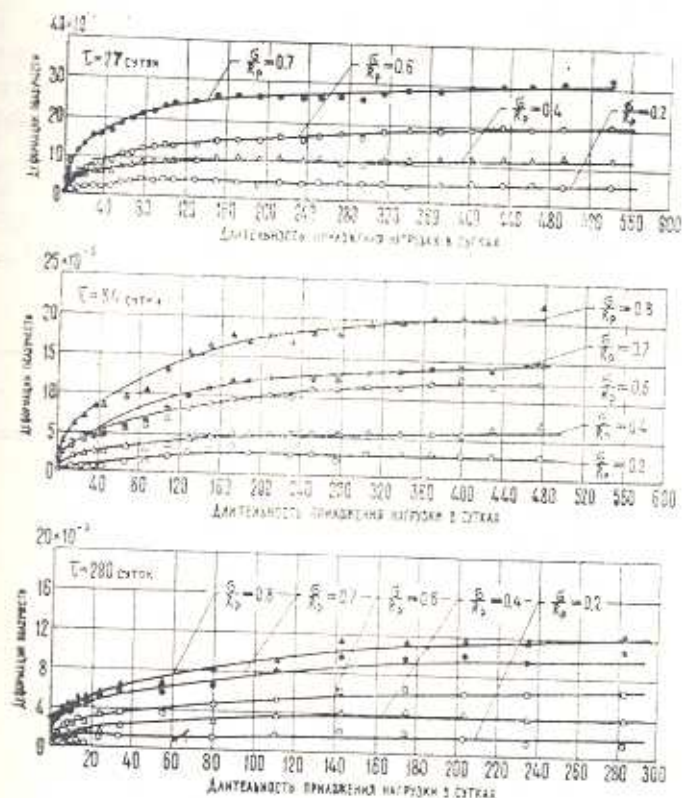
14, 27, 84 и 280 суток, находились под длительной растягивающей нагрузкой соответственно 557, 547, 539, 477 и 280 суток.



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 из фиг. 4 и 5, где на каждом графике приведены экспери-



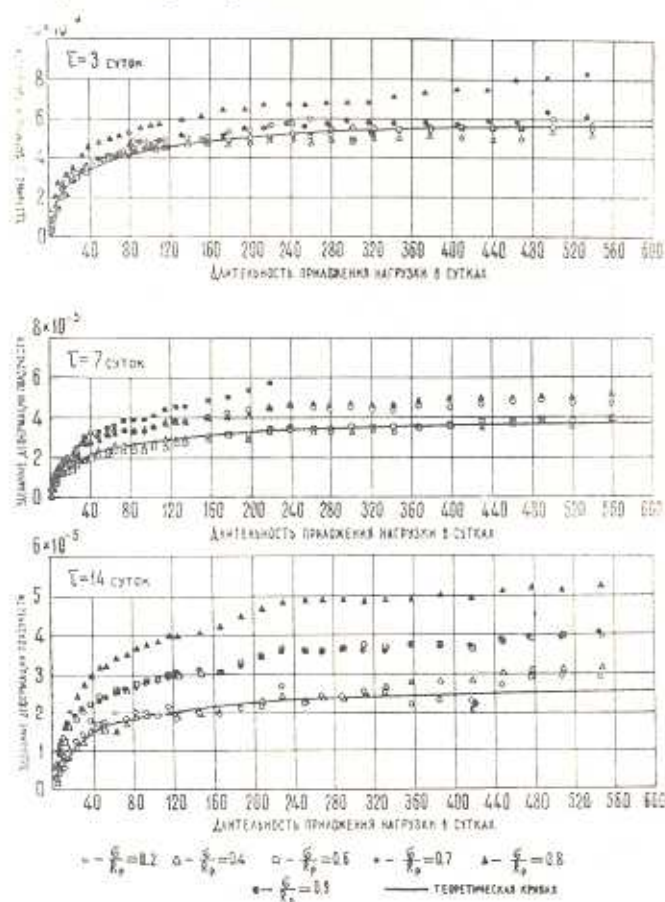
Фиг. 3

Таблица 3
Влияние возраста и уровня напряжений на модуль деформации бетона при растяжении

в сутках	Модуль деформации по касательной в т/см^2 при относительном напряж.				Модуль деформации по хорде в т/см^2 при $\tau/R_n = 0,5$
	0	0,25	0,50	0,75	
3	175	160	145	131	159
	1,00	0,91	0,83	0,75	0,91
7	192	176	161	146	176
	1,00	0,92	0,84	0,76	0,92
14	255	196	145	102	193
	1,00	0,77	0,57	0,40	0,76
27	216	181	149	120	180
	1,00	0,84	0,69	0,56	0,83
84	204	171	141	113	169
	1,00	0,84	0,69	0,55	0,83
280	213	172	135	102	169
	1,00	0,81	0,63	0,48	0,79

ментальные точки кривых удельных деформаций ползучести, 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 $\tau \geq 7$ суток — примерно 0,5–0,6.



Фиг. 4.

Как видно из фиг. 2 и 3, деформации ползучести бетона при растяжении, особенно при загрузении в возрастах 3, 7 и 14 суток, достигли значительных величин. Более наглядное представление об этом дают данные табл. 4, где приведены упруго-мгновенные деформации, деформации ползучести и характеристики ползучести бетона при различных τ и σ/σ_p . Как видим, характеристика ползучести бетона при $\tau = 3$ суток и $\sigma/\sigma_p = 0.2$ составляет 10, то есть столько, во сколько раз деформации ползучести больше упруго-мгновенных де-

формаций. При $\varepsilon/R_0 = 0.8$ характеристика ползучести возрастает в 1.43 раза.

Таблица 4

Влияние возраста бетона и относительного напряжения в момент длительного нагружения на упруго-мгновенные деформации, деформации ползучести и характеристику ползучести

в сутках	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	—
	$\bar{\varepsilon}_t = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	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	0.98
	$\varepsilon_n \cdot 10^5$ (при $t = 550$ сут)	6.37	13.45	23.13	29.86	38.49	49.61
	$\bar{\varepsilon}_t = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	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	—
	$\bar{\varepsilon}_t = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	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	—	—
	$\bar{\varepsilon}_t = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	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	—
	$\bar{\varepsilon}_t = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	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	—
	$\bar{\varepsilon}_t = \varepsilon_n / \varepsilon_y$	1.9	2.0	2.2	2.4	2.7	—

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

Увеличение растяжимости бетона благодаря ползучести является весьма положительным фактором, так как ползучесть может привести к существенной релаксации температурных и усадочных напряжений в бетоне и тем самым намного отодвинуть момент образования трещин. А чем больше ползучесть, 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].

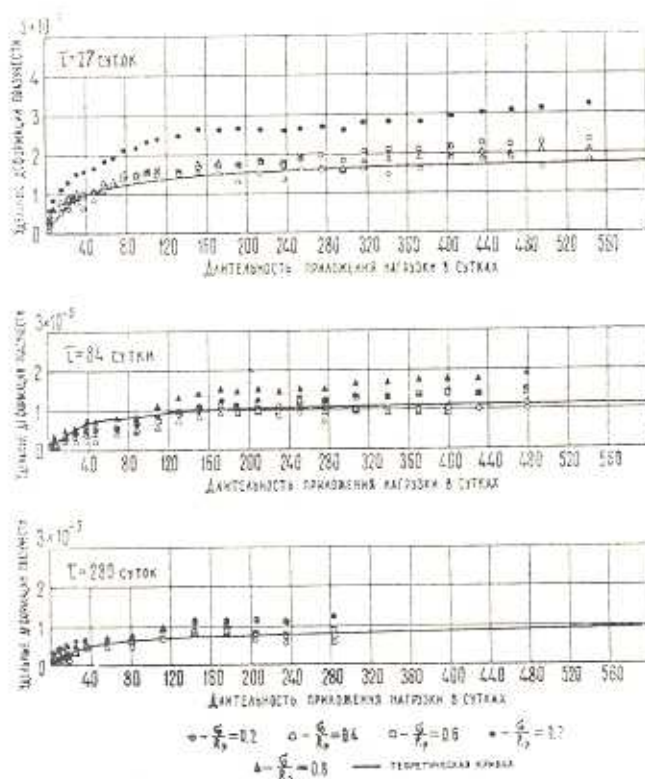
Как известно, аналитическое выражение меры ползучести бетона, предложенное Н. Х. Арутюняном, имеет следующий вид:

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

где $\varepsilon(\tau)$ — 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

$$C(t, \tau) = \left(C_0 + \frac{A}{\tau} \right) [1 - 0.5 (e^{-\gamma_1(t-\tau)} - e^{-\gamma_2(t-\tau)})] \quad (6)$$

где C_0 , A , γ_1 и γ_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:

$$C(t, \tau) = \left(0.8 + \frac{30.15}{3.17 + \tau} \right) [1 - 0.5 (e^{-0.0775(t-\tau)} + e^{-0.0071(t-\tau)})] \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

Тогда для линейной области деформация ползучести будет равна

$$\varepsilon_n(t, \tau) = \left(0.8 + \frac{30.15}{3.17 + \tau} \right) [1 - 0.5 (e^{-0.0775(t-\tau)} + e^{-0.0071(t-\tau)})] \cdot \tau \cdot 10^{-3} \quad (8)$$

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:

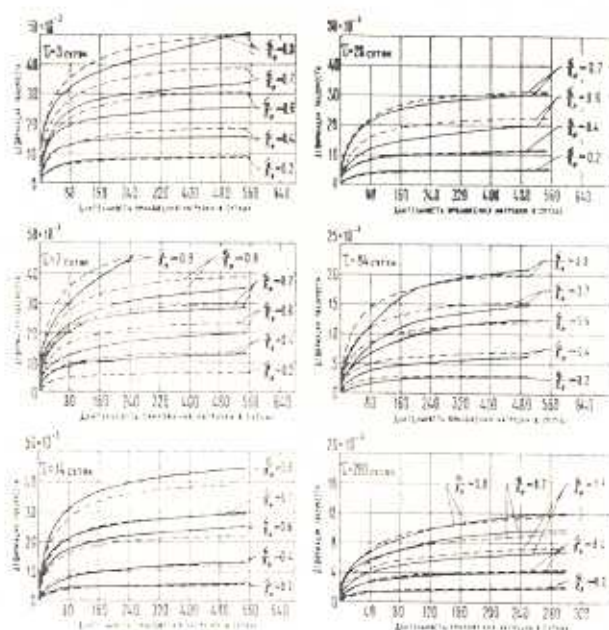
$$F(\sigma) = \alpha + \beta \sigma^n \quad (10)$$

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 α и β , зависящими только от τ .

Таким образом, окончательно было принято, что

$$F(\tau, \tau) = \alpha(\tau)\tau + \beta(\tau)\tau^2 \\ \alpha(\tau) + \beta(\tau) = 1 \quad (12)$$

На основании зависимостей (12) можно записать

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

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 $\varepsilon_0(t, \tau)$ будет равна

$$\varepsilon_0(t, \tau) = \left(0.8 + \frac{30.15}{3.17 + \tau}\right) [1 - 0.5(e^{-0.0570(t-\tau)} + e^{-0.0571(t-\tau)})] \times \\ \times \left[1 + \left(0.000516 + \frac{1.54 + 0.035\tau}{1079 + \tau^2}\right)(\tau^2 - 1)\right] \tau \cdot 10^{-5} \quad (15)$$

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

удовлетворительно 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. Зависимость между напряжениями и упругими деформациями бетона при растяжении линейна 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 $\tau > 7$ суток — 0.5-0.6.

3. При функции напряжений в 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_0 в момент длительного нагружения, а также от длительности нагружения t_1 . С увеличением σ/R_0 и t_1 характеристика ползучести увеличивается, а с увеличением τ уменьшается.

Для $\tau = 3$ суток и $t_1 = 550$ суток характеристика ползучести при $\sigma/R_0 = 0.2$ составляет 10.0, а при $\sigma/R_0 = 0.8$ — 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

Կ. Ս. ԿՈՐՊԵՏՅԱՆ, Ռ. Ա. ԿՈՏԻՉՅԱՆ

ԸՆԴՈՒՄՆԵՐ ԵՎ ՍՈՒՐԻ ԳԵՅՈՐԿԱՅԻՆՆԵՐԻ ԿԱՊԻ ՇԵԱՉՈՏՈՒՄԸ
ՉԳՄԱՆ ԳԵՊԳՈՒՄ

Ա Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Վ

Աշխատանքը նվիրված է հաստատուն ձգող լարումների գեոլոգիական ընդհանուր հետազոտությանը, կախված բնակավայրի մոմենտի բնույթից և լարումների մեծություններից:

5. Известия АН Армянской ССР, Механика, № 5

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ ձգման զեպքում սկսած փոքր լարումներից, լարումների և սողքի զեֆորմացիաների կապը գծային է: Սկզբնական մի որոշակի լարում ոչ գծայնությունը հասնում էի արտահայտվում և կարելի է մոտավոր ձևով բնութագրել գծային կապը:

Լարումների հարաբերական աճմանը, մինչև որոնց պահպանվում է մոտավոր գծային կապը, հասնում կախված է բնահամարման մոմենտում բևեռների հասակից: Այսպես, $z = 3$ օր հասակի համար լարումների և սողքի զեֆորմացիաների միջև գծային կապը պահպանվում է մինչև $z/R_0 = 0.7$ հարաբերական լարումը, իսկ $z \geq 7$ օրի զեպքում՝ մոտավորապես $0.5-0.6$:

Ձգման զեպքում սողքի բնութագիրը նախօրյա հասնում կախված է բնահամարման մոմենտում բևեռների հասակից և հարաբերական լարումների մեծություններից: Սողքի բնութագիրը հարաբերական լարումների մեծացման հետ աճում է, իսկ հասակի մեծացման հետ՝ նվազում: 3 օրական հասակում և $z/R_0 = 0.2$ հարաբերական լարման զեպքում սողքը մոտ 10 անգամ մեծ է համապատասխան առաժգանության զեֆորմացիայից:

Հետազոտությունները ցույց են տվել նաև, որ առաժգան-սողքային մարմնի գծային սողքի տեսությամբ բավականաչափ լավ է զբաղեցվում նաև ոչ գծային սողքի էքսպերիմենտալ կարերը հաստատուն ձգող լարումների զեպքում, եթե լարումների ֆունկցիան բնագրվում է համապատասխան ձևով:

THE INVESTIGATION OF STRESS-STRAIN RELATION OF CREEP UPON TENSION

K. S. KARAPETIAN, R. A. KOTIKIAN

Summary

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 nonlinearity 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Докл. АН Арм. ССР, т. 14, № 3, 1951.
2. Арутюнян Н. Х. 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. наук, т. 12, № 4, 1959.
6. *Карпетян К. С.* Влияние анизотропии на ползучесть бетона при сжатии и растяжении в зависимости от величины напряжения. 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. наук, т. 17, № 4, 1964.
8. *Катин Н. И.* Исследование ползучести бетона при высоких напряжениях. Исследование свойств бетона и железобетонных конструкций. Тр. НИИЖБ, вып. 4, Госстройиздат, 1959.
9. *Котикян Р. А.* Ползучесть бетона при двухосном растяжении. Изв. АН АрмССР, Механика, т. XXI, № 1, 1968.
10. *Мельник Р. А.* Исследование функции напряжений для аналитического выражения ползучести бетона. Изв. вузов МВ и ССО СССР, "Строительство и архитектура", № 4, Новосибирск, 1963.
11. *Митропольский А. К.* Техника статистического вычисления. М., 1961.
12. *Саташкин А. В.* Ползучесть бетона. Сб. "Прочность, упругость и ползучесть бетона", Стройиздат Наркомстрой, 1941.
13. *Саташкин А. В.* Деформационная способность бетона. Сб. ЛИИЖТ, вып. 45, Транскладориздат, 1954.
14. *Шейкин А. Е., Николаев В. П.* Об упруго-пластических свойствах бетона при растяжении. "Бетон и железобетон", № 9, 1939.
15. *Davis R., Davis H., Hamilton J.* Plastic flow of concrete under sustained stress, "Proceedings of the American Society for testing materials", part II, 1934.
16. *Datton R.* Deformation lentes du béton et du béton armé sous l'action des charges permanentes. "Annales des Travaux Publiés de Belgique", 1936, 1937.
17. *Glanville W. H., Thomas F. G.* Further investigations on the creep or flow of concrete, IV. Building Research Technical Paper. No 21, London, 1939.