

И. И. ТЕМНОВ

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ЭПЮРЫ НАПРЯЖЕНИЙ НА  
ДЕФОРМАЦИИ ПОЛЗУЧЕСТИ БЕТОННЫХ ОБРАЗЦОВ

В статье автора [6] изложены результаты опытов, проведенных с целью выявления влияния формы эпюры напряжений на величину меры ползучести\* бетонных образцов. Сравнивались меры ползучести центрально-сжатых, внецентренно-сжатых и изгибаемых образцов, изготовленных из вибрированного бетона при  $B:D=0.65$  с осадкой конуса 5—6 см. Образцы хранились и испытывались в специальном помещении при температуре 20—25° и влажности 76—83%. Укладка бетона проводилась так, чтобы при передаче нагрузок на образцы направление действующих нормальных напряжений было параллельно слоям набивки.

Загружение образцов проводилось тремя ступенями в течение часа с выдержками по 15 минут.

Для создания длительного простого и внецентренного сжатия образцов применялись пружинные приборы, обеспечивающие при помощи шарнира фиксацию положения сжимающих сил.

К изгибаемым образцам с пролетом, равным 700 мм, нагрузка прикладывалась в виде двух сосредоточенных сил, расположенных симметрично относительно середины на расстоянии 400 мм друг от друга (фиг. 2 [6]). Сосредоточенные силы, вызывающие изгиб образца, создавались при помощи подвешенных грузов. Центрально и внецентренно сжатые призмы загружались так, чтобы средние напряжения в их поперечных сечениях имели одинаковую величину.

Размеры поперечного сечения образцов, загружаемых длительнодействующей нагрузкой, составляли  $7 \times 7$  и  $14 \times 14$  см. Все образцы загружались в возрасте бетона, равном 28 суткам. Призменная прочность и предел прочности бетона на растяжение при изгибе составляли соответственно 97 и  $13.7 \text{ кг/см}^2$  при модуле упругости, равном  $172000 \text{ кг/см}^2$ .

Величина длительной нагрузки подбиралась так, чтобы между напряжениями и деформациями ползучести существовала линейная зависимость. При этом напряжение в образцах, подверженных сжатию при изгибе, составляло  $5.5 \text{ кг/см}^2$ , а в центрально-сжатых —  $22 \text{ кг/см}^2$ .

Результаты испытания образцов, длившегося 90 суток, представлены в табл. 1.

\* Мера ползучести  $S(t, \tau_1)$  — деформация ползучести бетонного образца в момент времени  $t$ , нагруженного единичным напряжением в момент времени  $\tau_1$ .

Таблица 1  
Отношение меры ползучести при изгибе к мере ползучести при центральном сжатии

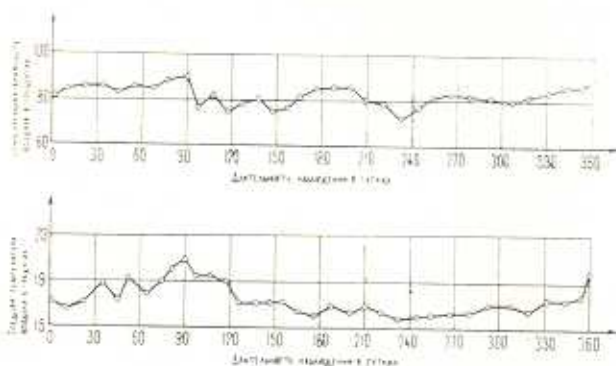
Сечение см	$C(28,04,28)$	$C(33,28)$	$C(43,28)$	$C(58,28)$	$C(88,28)$	$C(118,28)$
	$C(28,04,28)$	$C(33,28)$	$C(43,28)$	$C(58,28)$	$C(88,28)$	$C(118,28)$
7×7	1.52	2.0	1.91	1.74	1.60	1.54
14×14	1.56	1.87	1.82	1.60	1.58	1.55

Из табл. 1 видно, что отношение меры ползучести бетона в сжатой зоне при чистом изгибе  $C_u(t, \tau_1)$  к мере ползучести при центральном сжатии  $C(t, \tau_1)$  в любом возрасте рассматриваемого интервала времени больше 1.5.

Проведенные опыты, как это следует из ряда высказываний, имели относительно небольшую длительность испытания образцов (90 суток) и малую величину напряжений сжатия при изгибе ( $5.5 \text{ кг/см}^2$ ).

Учитывая это, автором были проведены аналогичные экспериментальные исследования над образцами, изготовленными из вибрированного бетона состава 1:1.86:4.6 по весу на портландцементе при  $B:\underline{C} = 0.46$  с осадкой конуса 4—5 см.

Образцы освобождались от ферм на пятые сутки и хранились в течение 10 суток во влажном песке, а затем в специальном помещении при незначительных отклонениях температуры и влажности, представленных на фиг. 1. Назначение образцов и их размеры указаны в табл. 2.



Фиг. 1. Изменение температуры и относительной влажности воздуха.

В табл. 3 приведены физико-механические характеристики бетона, полученные одновременно с загрузкой образцов, произведенной в 28-дневном возрасте.

Приборы для создания простого сжатия и изгиба, схемы нагружения образцов и методика проведения опытов оставались такими же, как и ранее [6].

Таблица 2

Количество, размеры и назначение опытных образцов

№№ п/п	Вид образца	Размеры образца в см	Количество шт	Условные обозначения	Образцы изготовлены для определения
1	2	3	4	5	6
1	Кубики	10×10×10	5	—	Кубиковой прочности
2	Призмы	10×10×45	5	—	Призменной прочности
3	"	10×10×45	3	—	Модуля упругости
4	"	10×10×90	10	—	Разрушающего момента $M$ и предела прочности на растяжение при изгибе
5	Призмы	10×10×75	3	П-1 П-2 П-3	Деформаций ползучести при центральном сжатии
6	"	10×10×90	3	ПИ-1 ПИ-2 ПИ-3	Деформаций ползучести при изгибе
7	"	10×10×75	3	У-1 У-2 У-3	Усадочных деформаций при вертикальном положении образца
8	"	10×10×90	3	УИ-1 УИ-2 УИ-3	Деформаций при горизонтальном положении ненагруженного образца

Максимальные напряжения приблизительно составляли: в центрально-сжатых призмах —  $0.144 R_{пр}$ , изгибаемых —  $0.65 R_{пр}$ , что обеспечивало линейную зависимость между деформациями ползучести и напряжениями [2], [3], [7].

Таблица 3\*

Физико-механические характеристики бетона

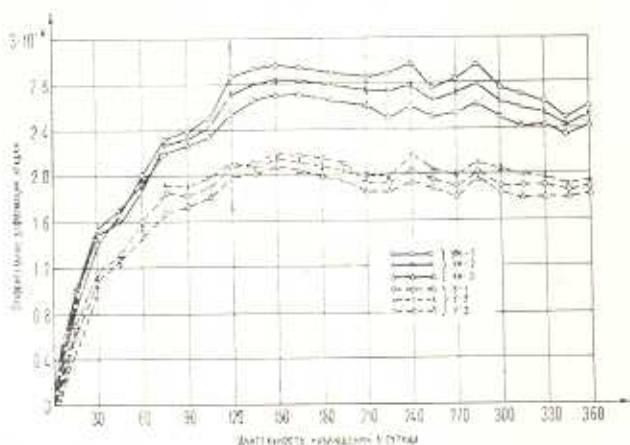
$R$ кг/см <sup>2</sup>	$R_{пр}$ кг/см <sup>2</sup>	$E_0$ (28) кг/см <sup>2</sup>	$M_p$ кгм	$R_{пр}$ кг/см <sup>2</sup>
413	278	350000	38.3	22.9

При проведении опытов под ползучестью понимались деформации нагруженных образцов, развивающиеся во времени, за вычетом соответствующих деформаций ненагруженных образцов.

На фиг. 2 приведены относительные деформации усадки исследованного нами бетона в возрасте  $28 \leq t \leq 388$  суток. Сплошными линиями показаны укорочения верхних образцов, находившихся в горизонтальном положении, пунктирными линиями — образцов, находившихся в вертикальном положении.

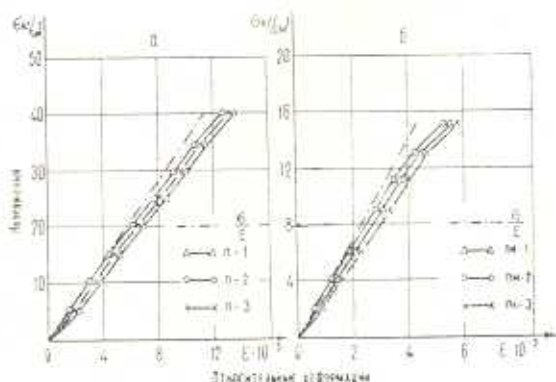
\* В табл. 3 кубиковая прочность приведена к прочности стандартных образцов размером  $20 \times 20 \times 20$  см путем умножения на коэффициент, равный 0.85.

Из фиг. 2 видно, что величина усадки в образцах, находившихся в горизонтальном положении, в течение двух недель после начала наблюдения превышает усадку образцов, находившихся в вертикальном положении, примерно вдвое. Однако, при  $58 \leq t \leq 388$  суток такое превышение составляет 1.25—1.30 раза.



Фиг. 2. Кривые деформаций усадки образцов, находившихся в вертикальном и горизонтальном положениях.

Результаты кратковременного испытания образцов приведены на фиг. 3. На фиг. 3а и 3в пунктирной линией показаны мгновенные деформации, полученные при испытании бетонных призм при определении модуля упруго-мгновенных деформаций. Сплошными линиями показаны упруго-пластические деформации, развивающиеся как при подаче нагрузки, так и за время выдержек.

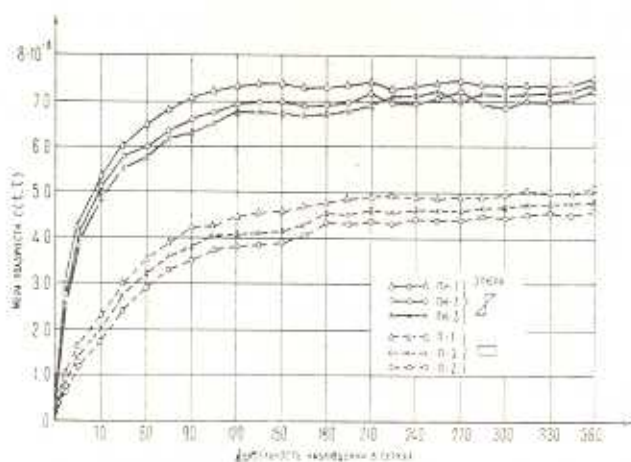


Фиг. 3. Кривые упруго-мгновенных и упруго-пластических (упруго-пластических) деформаций образцов.

Назовем отношение деформаций, развившихся за весь период приложения нагрузки (за вычетом упруго-мгновенных деформаций), к величине напряжений после окончания загрузки условной мерой ползучести. Тогда сравнение условных мер ползучести показывает,

что если условную меру ползучести центрально-сжатых образцов принять за единицу, то условная мера ползучести изгибаемых образцов составляет примерно 1.78.

На фиг. 4 представлены результаты опытов на ползучесть. Верхние три кривые относятся к изгибаемым образцам, нижние — к центрально-сжатым.



Фиг. 4. Кривые ползучести бетонных образцов при треугольной и прямоугольной эпюрах напряжений.

Из табл. 4 видно, что отношения мер ползучести в любом возрасте рассматриваемого интервала времени больше 1.5. При этом, наибольшие величины этого отношения характерны для интервала  $29 < t \leq 58$ , т. е. для интервала наибольшей скорости развития усадочных деформаций ненагруженных образцов. В опытах [6] интервал наибольших отношений был равен  $29 < t < 43$ . Вероятно, и увеличение отношения  $C_{II}:C$  в этом периоде связано с развитием части усадочных деформаций, появляющихся при наличии напряжений и выявленных в опытах С. В. Александровского [1].

Характерно, что, как и в опытах [6], отношение  $C_{II}:C$  через час после приложения нагрузки (1.78), т. е. когда влияние усадки было ничтожным, и через 360 суток, т. е. когда процесс усадки в основном закончился, (1.55), изменяется сравнительно незначительно.

Из табл. 4 также видно, что после шести месяцев пребывания образцов под нагрузкой и до  $t = 388$  суткам отношение  $C_{II}:C$  практически не меняется.

В табл. 5 приведены скорости роста мер ползучести исследуемых бетонных образцов. Из табл. 5 видно, что при  $t = 35$  суткам превышение скорости роста меры ползучести изгибаемых образцов над центрально-сжатыми составляет более трех раз. С увеличением  $t$  превышение скорости уменьшается и, начиная примерно с

Таблица 4

Отношение меры ползучести при изгибе к мере ползучести при центральном сжатии

$\frac{C_{ii}(28,04,28)}{C(28,04,28)}$	$\frac{C_{ii}(33,28)}{C(33,28)}$	$\frac{C_{ii}(43,28)}{C(43,28)}$	$\frac{C_{ii}(58,28)}{C(58,28)}$	$\frac{C_{ii}(88,28)}{C(88,28)}$	$\frac{C_{ii}(118,28)}{C(118,28)}$	$\frac{C_{ii}(148,28)}{C(148,28)}$	$\frac{C_{ii}(178,28)}{C(178,28)}$
1.78	2.70	2.30	2.50	1.85	1.76	1.70	1.68
$\frac{C_{ii}(208,28)}{C(208,28)}$	$\frac{C_{ii}(238,28)}{C(238,28)}$	$\frac{C_{ii}(268,28)}{C(268,28)}$	$\frac{C_{ii}(298,28)}{C(298,28)}$	$\frac{C_{ii}(328,28)}{C(328,28)}$	$\frac{C_{ii}(358,28)}{C(358,28)}$	$\frac{C_{ii}(388,28)}{C(388,28)}$	
1.53	1.55	1.55	1.54	1.52	1.53	1.55	

$t=50$  суткам, эти скорости выравниваются и остаются постоянными до окончания испытания образцов.

Таблица 3

Скорости роста деформаций ползучести

	tg $\epsilon(t)$					
	35	43	58	73	88	118
Центральное сжатие	3	2.6	1.2	1.5	1.0	0.5
Сжатие при изгибе	11.0	5.0	2.0	1.5	1.0	0.5

Результаты проведенных исследований в общем согласуются с результатами опытов [6] и позволяют сделать вывод о том, что мера ползучести изгибаемых образцов, загруженных в возрасте бетона  $\tau_1 = 28$  суткам, больше меры ползучести соответствующих центрально-сжатых образцов и в интервале  $208 < t < 388$  составляет примерно 1.55.

Подтверждением различия в мерах ползучести при центральном сжатии и изгибе являются результаты, полученные при обработке экспериментальных данных по изгибу железобетонных балок с обычной арматурой при длительном действии нагрузки [4], [5]. При этом хорошее соответствие теории с опытными данными получилось в случае принятия меры ползучести бетона сжатой зоны балки, равной 1.55 меры ползучести соответствующей центрально-сжатой бетонной призмы.

Вероятно, причиной различия в мерах ползучести бетонных образцов при центральном сжатии и изгибе является неоднородность бетона в результате повышенного водосодержания верхних слоев изгибаемых образцов вследствие вибрирования.

Результаты проведенных исследований необходимо учитывать при разработке методов расчета балок с обычной и предварительно напряженной арматурой.

Одесский инженерно-строительный институт

Поступила 1 IV 1967

И. И. Темнов

ԱՐՄԻՄԱՆԵՐԻ ԷՊՅՈՒՐԱՅԻ ՉԵՎԻ ԱԶԳԵՅՈՒԹՅՈՒՆՆԸ ԲԵՏՈՆԵ ՆՄՈՒՇՆԵՐԻ  
ՍՈՂՔԻ ԴԵՖՈՐՄԱՅԻԱՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ո ս մ

Հողփածուս բերված են սողքի զեֆորմացիաների մեծություն վրա՝ բա-  
րամեների հարաբար ձևի ազդեցության փորձնական ուսումնասիրության ար-  
դյունքները:

Փորձերը կատարվել են ծաված կենտրոնական սեղմված նմուշների վրա, որոնք զանվել են բեռնավորման տակ մեկ տարի:

Փորձերի արդյունքները ցույց են տալիս, որ ծաված նմուշների սողրի չափը մեծանում է կենտրոնական սեղմված նմուշների չափից՝ բեռնավորման ակնթարթից սկսած: Վեց ամսից հետո այդ մեծացումը դառնում է մոտավորապես հաստատուն և հավասար է 1,55:

I. I. TEMNOV

## THE INFLUENCE OF THE SHEARING FORCE DIAGRAM ON THE DEFORMATION OF CREEP IN CONCRETE SAMPLES

### S u m m a r y

The results of experimental research on the influence of the shearing force diagram on the value of creep deformation are given in this article.

The experiments were carried out with bent and centrally compressed samples which had been under a load for a year.

The results of the experiments show that creep measure of the bent samples is greater than that of the centrally compressed samples beginning with the moment of loading. After six months of load action this increase becomes nearly constant and is equal to 1.55.

### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Александровский С. В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на температурные и влажностные воздействия (с учетом ползучести). Стройиздат, 1966.
2. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. Гостехтеориздат, 1952.
3. Карапетян К. С. Ползучесть бетона при высоких напряжениях. Изв. АН Арм. ССР, сер. физ.-мат., естеств. и техн. наук, т. 6, № 2, 1953.
4. Прокопович И. Е. Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояние сооружений. Госстройиздат, 1963.
5. Прокопович И. Е., Темнов И. И., Штохин В. И. О приближенном способе определения прогибов железобетонных балок при длительном действии нагрузок. Строительные конструкции, вып. VI, Киев, 1967.
6. Темнов И. И. Влияние на деформации ползучести размеров поперечного сечения бетонного призматического образца и формы эпюры напряжений. Изв. АН АрмССР, сер. физ.-мат. наук, т. 14, № 6, 1961.
7. Улицкий И. И., Чжан Чжун-Яо, Гольшнев А. Б. Расчет железобетонных конструкций с учетом длительных процессов. Госстройиздат УССР, Киев, 1960.