

ТЕОРИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ

И. И. Темнов

Влияние на деформации ползучести размеров поперечного сечения бетонного призматического образца и формы эпюры напряжений

Установлено, что размеры поперечного сечения бетонного призматического образца с неизолированной поверхностью влияют на деформации ползучести и усадки. При прочих одинаковых условиях, эти деформации обратно пропорциональны размерам поперечного сечения образца. Кроме того, некоторые факты показывают, что на величину ползучести влияет и эпюра напряжений.

Несмотря на это, при оценке влияния ползучести на напряженное и деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций, нередко не учитываются размеры поперечных сечений элементов, входящих в состав этих конструкций.

Автором настоящей статьи были поставлены следующие задачи.

а) Провести экспериментальные исследования влияния размеров поперечных сечений на величину деформаций ползучести бетонных образцов с неизолированной поверхностью, обобщить имеющиеся результаты таких исследований.

б) на основании опытов выявить возможные отклонения меры ползучести бетона в центрально сжатых образцах от меры ползучести бетонных образцов при внецентренном сжатии и изгибе.

1. Влияние масштабного фактора на деформации ползучести и усадки изучалось в работах А. А. Гвоздева [7], С. Е. Фрайфельда [17], И. И. Улицкого [16], М. С. Боришанского [8], В. С. Булгакова [8], С. В. Александровского [1], К. С. Карапетяна [9], С. Я. Эйдельмана [20], И. Е. Прокоповича [14], Девиса [15], Графа [17] и других.

Известно, что если при быстром („мгновенном“) нагружении бетонного образца деформации его растут пропорционально напряжениям, то при относительно медленном нагружении соотношения между деформациями и напряжениями увеличиваются. Нарастание деформаций, с увеличением времени, в течение которого производится нагружение образца, вызывается ползучестью бетона.

Так как даже при обычных машинных испытаниях нагрузка прикладывается не мгновенно, а в течение некоторого промежутка времени, то результаты их зависят от скорости приложения нагрузки, предопределяющей степень развития деформаций ползучести. Это при-

водит к тому, что даже при кратковременных испытаниях величины деформаций существенно зависят от размеров поперечных сечений бетонных образцов.

М. С. Боришанским [8] при разных режимах нагружения были испытаны призмы $25 \times 25 \times 100$ и $10 \times 10 \times 40$ см. Результаты опытов показывают, что при равных скоростях нагружения деформации больших образцов систематически оказываются меньше деформаций малых образцов.

В. С. Булгаковым [8], в лаборатории железобетонных конструкций ЦНИПС-а, проведены кратковременные испытания железобетонных образцов на внецентренное сжатие с малым эксцентриситетом. Размеры образцов, при этом, относились друг к другу как

$$1 : \frac{1}{2} : \frac{1}{4} : \frac{1}{8},$$

причем самый большой образец имел размеры $1,6 \times 0,8$ м при высоте 3,6 м, а самый маленький — 20×10 см при высоте 45 см.

Если мгновенные деформации большого и малого образцов оказались близкими друг к другу, то деформации ползучести при одинаковом напряжении получились для малого образца в 3 раза больше, чем для большого образца.

В 1943 году А. А. Гвоздевым [7], на основе предложенной им оригинальной теории ползучести бетона, были получены формулы для определения полных относительных деформаций, в которых учитывается влияние абсолютного размера образца. В формулах (38) и (39) [7] время представлено переменной $t = t(a^2/R^2)$, где

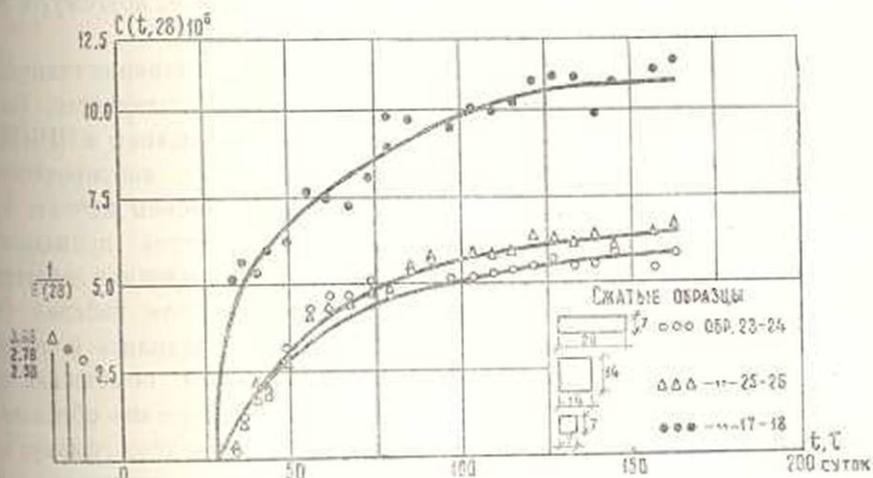
a — постоянная, зависящая от физических свойств материала,

R — радиус цилиндра.

Формулы построены так, что с увеличением радиуса цилиндра, при прочих равных условиях, деформации будут нарастать медленнее. Переменная t содержится, как в слагаемом, учитывающем деформацию возникающую тотчас по приложении нагрузки, так и в слагаемом, учитывающем деформацию развивающуюся во времени. К сожалению, эти теоретические результаты не были подкреплены опытными данными. Экспериментальную проверку влияния размеров образца на ползучесть производил Девис [13]. В его опытах на 500-е сутки испытания цилиндра диаметром 15 см величина ползучести оказалась равной 270 μ /м, цилиндра диаметром 20 см — 245 μ /м и цилиндра диаметром 25 см — 170 μ /м.

К. С. Каралетяном [9] проводились исследования влияния размеров образца на ползучесть легкого бетона на литой пемзе. Цилиндрические образцы с диаметрами равными 14 и 25 см хранились до месячного возраста во влажной камере, затем загружались длительной нагрузкой в помещении с влажностью $50 \pm 10\%$. Длительность действия нагрузки составляла 550 дней. В результате оказалось, что деформации ползучести малых образцов на 20% больше ползучести

больших образцов. На основании проведенных опытов сделан вывод о том, что фактор масштабности не имеет места, если исключить процесс испарения воды. Поэтому меру ползучести бетона, определяемую на малых изолированных образцах, можно считать равной мере ползучести бетона в массиве. Предлагается определять в лабораторных условиях ползучесть на нескольких образцах с различными размерами поперечных сечений без исключения испарения и на образцах одного размера с исключением испарения. Полученная таким образом



Фиг. 1. Кривые ползучести при сжатии образцов с поперечным сечением 7×7 , 14×14 , 7×28 см по опытам И. Е. Прокоповича.

зависимость меры ползучести от размеров поперечного сечения образцов будет охватывать весь диапазон размеров от наименьшего неизолированного до массива.

И. Е. Прокоповичем [14] проводились длительные испытания на сжатие бетонных образцов с размерами 7×7 , 14×14 и 7×28 см при длине 70 см. Образцы были изготовлены из нормального портландцемента из бетона состава 1:1,82:3,7 при $B/H=0,55$ и загружены в возрасте $\tau_1=28$ суток. Результаты испытания приведены на фиг. 1.

В этой же работе приведены отношения деформаций ползучести к упругим деформациям для образцов с различными поперечными сечениями. Эти отношения представлены в таблице 1, где

$\varepsilon_a(160, \tau_1)$ — деформация ползучести при $t=160$ суток от нагрузки, приложенной в момент $\tau_1=28$ суток,

$\varepsilon_p(\tau_1)$ — упруго-мгновенная деформация в момент приложения нагрузки.

Приведенные в этой таблице величины отношений, с известным

Таблица 1

Поперечное сечение образца в см	$\frac{\varepsilon_a(160, \tau_1)}{\varepsilon_p(\tau_1)}$
7×28	2,40
14×14	2,24
7×7	3,89

приближением, характеризуют и влияние размеров поперечных сечений элементов на предельные характеристики ползучести, равные отношению полных деформаций ползучести к соответствующим упруго-мгновенным деформациям. Как видно из таблицы 1, с увеличением поперечного сечения образца предельная характеристика ползучести уменьшается. Различие в предельных характеристиках ползучести образцов разных размеров может вызвать перераспределение, за счет ползучести, внутренних усилий в статически неопределимых конструкциях, состоящих из элементов различных размеров, и, поэтому, в ряде случаев должно учитываться в расчетах [14].

Результаты работы по обобщению исследованной влияния геометрических размеров поперечного сечения на величину ползучести, были доложены И. И. Улицким в феврале 1960 г. на совещании в НИИЖБ.

2. В наших опытах образцы изготавливались из вибрированного бетона состава 1:2,48:4,37 по весу, на пуццолановом цементе при $V:C = 0,65$ с осадкой конуса 5—6 см. Укладка бетона проводилась так, чтобы при передаче нагрузок на образцы направление действующих нормальных напряжений было параллельно слоям набивки. Образцы освобождались из форм на пятые сутки и хранились в течение 10 суток во влажном песке, а затем в специальном помещении при температуре 20—25° и влажности 76—83%. Назначение образцов и их размеры указаны в таблице 2. В таблице 3 приведены физико-механические характеристики бетона, полученные одновременно с загрузкой образцов, произведенной в 28 дневном возрасте.

Загружение образцов проводилось тремя ступенями в течение часа с выдержками по 15 минут. Отсчеты по приборам при каждой ступени нагрузки снимались дважды: точнее после загрузки и перед приложением новой ступени нагрузки. Такой порядок загрузки и снятия отсчетов позволил отделить упругие деформации от деформаций ползучести. Деформации определялись по стационарным индикаторам с точностью делений: 0,001 мм для определения ползучести, 0,002 мм для усадки при базе 200 мм.

Для создания длительного простого и внецентренного сжатия образцов применялись пружинные приборы, обеспечивающие при помощи шарнира фиксацию положения сжимающих сил. При внецентренном сжатии силы прикладывались на границе упругого ядра сечения (теоретического, см. фиг. 2-а и 2-б).

К изгибаемым образцам с пролетом равным 700 мм нагрузки прикладывались в виде двух сосредоточенных сил, расположенных симметрично относительно середины на расстоянии 400 мм друг от друга (фиг. 2-в). Сосредоточенные силы, вызывающие изгиб образца, создавались при помощи подвешенных грузов. Деформации бетона измерялись между сосредоточенными силами в сжатой и растянутой зонах. Центально и внецентренно сжатые призмы загружались так, чтобы средние напряжения в их поперечных сечениях имели одинаковую величину.

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	кубики	10×10×10	5	—	кубиковой прочности
2	призмы	10×10×45	5	—	призмной прочности
3	.	10×10×45	3	—	модуля упругости
4	.	7×7×90	5	—	разрушающего момента M_R и предела прочности на растяжение при изгибе R_{pu}
5	.	14×14×90	5	—	
6	.	7×7×75	3	П-1 П-2 П-3	деформаций ползучести при центральном сжатии
7	.	14×14×75	3	П-4 П-5 П-6	деформаций ползучести при центральном сжатии
8	.	7×7×75	3	ПВ-1 ПВ-2 ПВ-3	деформаций ползучести при внецентренном сжатии
9	.	14×14×75	3	ПВ-4 ПВ-5 ПВ-6	деформаций ползучести при внецентренном сжатии
10	.	7×7×90	3	ПИ-1 ПИ-2 ПИ-3	деформаций ползучести при изгибе
11	.	14×14×90	3	ПИ-4 ПИ-5 ПИ-6	деформаций ползучести при изгибе
12	.	7×7×75	3	У-1 У-2 У-3	усадочных деформаций при вертикальном положении образца
13	.	14×14×75	3	У-4 У-5 У-6	усадочных деформаций при вертикальном положении образца
14	.	7×7×90	3	У-7 У-8 У-9	деформаций при горизонтальном положении ненагруженного образца
15	.	14×14×90	3	У-10 У-11 У-12	деформаций при горизонтальном положении ненагруженного образца

Таблица 3

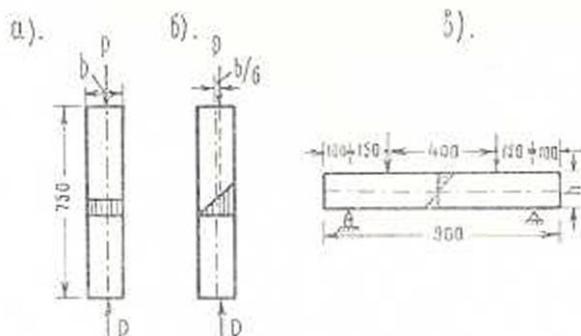
Физико-механические характеристики бетона

R кг/см ²	R_{pr} кг/см ²	E_s (28) кг/см ²	M_R кгм (7×7 см)	M_R кгм (14×14 см)	R_{pu} кг/см ²
123	97	172000	7,8	63	13,7

Примечание: Кубиковая прочность приведена к прочности стандартных образцов размером 20×20×20 см, путем умножения на коэффициент, равный 0,55.

В соответствии с задачами, поставленными при проведении опытов, величина нагрузки подбиралась так, чтобы между напряжениями и деформациями ползучести существовала линейная зависимость.

На основании ряда экспериментальных данных [5], [16], [6], [10], [11] можно считать, что такая линейная зависимость существует при $\sigma \leq 0,5 R_{пр}$ при центральном сжатии. Опыты [6], [11] показали, что деформации ползучести при центральном растяжении пропорциональны напряжениям почти до предела прочности.



Фиг. 2. Схемы загрузки бетонных образцов.

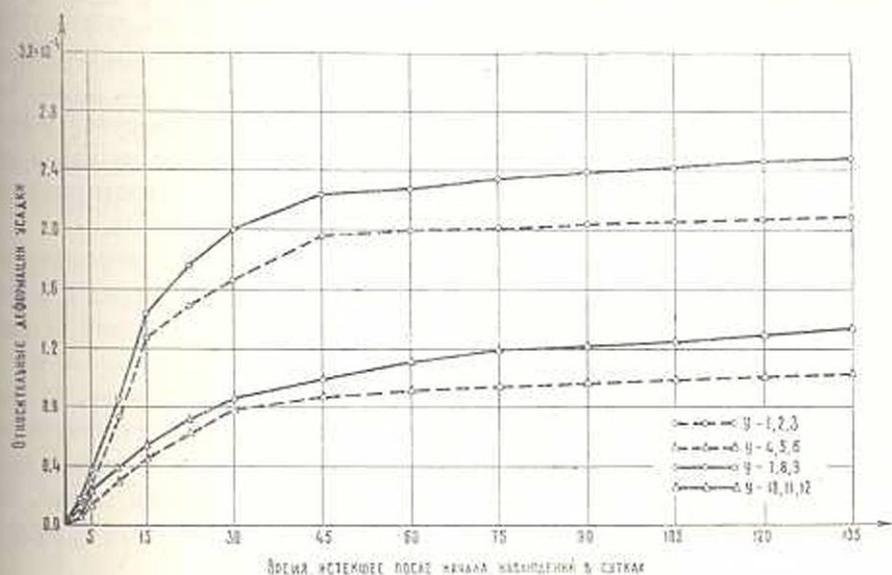
В проведенных нами опытах, максимальные напряжения приблизительно составляли: в центрально сжатых призмах — $0,23 R_{пр}$, внецентренно сжатых — $0,46 R_{пр}$, изгибаемых — $0,4 R_{пр}$.

При проведении опытов под ползучестью понимались деформации нагруженных образцов, развивающиеся во времени, за вычетом соответствующих деформаций ненагруженных образцов. Известно, что существует другая трактовка деформаций ползучести, предложенная С. В. Александровским [1].

3. При высыхании происходит уменьшение объема бетона, называемое обычно усадкой. В основном усадка обусловлена объемными изменениями гелевой структурной составляющей [18], [1] и частично капиллярными явлениями. В последнее время это убедительно доказано в результате обстоятельных опытов, проведенных С. В. Александровским [1], [2], [3].

Установлено, что на величину усадки существенно влияют размеры поперечных сечений образцов, твердеющих в обычных условиях с неизолированной поверхностью. Поэтому деформации ненагруженных образцов, служащие для исключения усадочных деформаций при определении ползучести, должны определяться на образцах, имеющих размеры поперечного сечения равные размерам поперечных сечений нагруженных образцов.

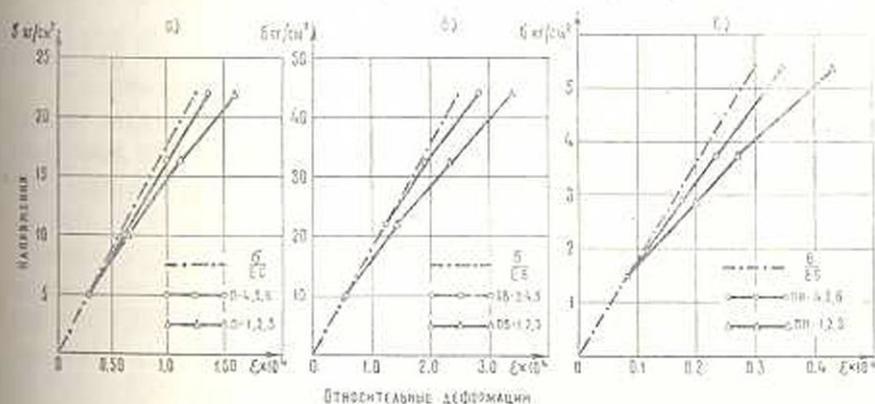
На фиг. 3 приведены относительные деформации усадки исследованного нами бетона в возрасте $28 < t \leq 163$ суток. Две верхние кривые представляют усадку образцов с поперечным сечением 7×7 , а нижние — 14×14 см. Сплошными линиями показаны укорочения верхних кромок образцов, находившихся в горизонтальном положе-



Фиг. 3. Кривые деформаций усадки образцов с поперечным сечением 7×7 и 14×14 см, находившихся в вертикальном и горизонтальном положениях:

ни, пунктирными линиями— образцов, находившихся в вертикальном положении. Деформации усадки, замеренные на нижних гранях образцов, находившихся в горизонтальном положении, оказались на 3—5% меньше усадки на верхних гранях.

Из фиг. 3 видно, что величина усадки в образцах с меньшим поперечным сечением резко превосходит усадку образцов с сечением



Фиг. 4. Кривые упруго-мгновенных и упруго-ползучих (упруго-пластических) деформаций образцов с поперечным сечением для упруго-мгновенных — 10×10 , для упруго-ползучих 7×7 и 14×14 см.

больших размеров. Отношение усадочных деформаций изменяется от 2,7 в 15 суток до 1,9 в 135 суток. Скорости деформаций усадки разных образцов через 135 суток становятся примерно одинаковыми.

4. Результаты кратковременного испытания образцов, полученные при обработке данных наших опытов приведены на фиг. 4. На

фиг. 4 а, б и в пунктирной линией показаны мгновенные деформации, полученные при испытаниях бетонных призм размером $10 \times 10 \times 45$ см. при определении модуля упруго-мгновенных деформаций. Сплошными линиями показаны упруго-ползучие (упруго-пластические) деформации, развивающиеся как при подаче нагрузки, так и за время выдержек в центрально сжатых, внецентренно сжатых и изогнутых образцах, с размерами поперечных сечений 7×7 и 14×14 см.

Как видно из этих фигур, деформации образцов меньшего сечения к моменту окончания приложения нагрузки примерно в 3 раза больше деформаций образцов большего сечения независимо от вида деформированного состояния элемента (см. табл. 4).

5. Известно, что если усадка носит объемный характер, то ползучесть бетона развивается, в основном, в направлении действующего усилия. Однако, ползучесть и усадка бетона находятся в тесной взаимосвязи. Не останавливаясь детально на таковой, укажем только, что к внешним признакам взаимосвязи относится и влияние масштабного фактора.

Таблица 4

	Размеры сечения, см	σ , кг/см ²	C (28,04,28)			lg α (t)					
			10^{-6}	10^{-6}	10^{-6}	33	43	58	88	103	118
Центральное сжатие . . .	7×7	22	1,58	9,1	21,0	1,63	1,30	0,90	0,33	0,20	0,075
Центральное сжатие . . .	14×14	22	0,51	3,2	8,7	0,80	0,35	0,27	0,17	0,10	0,06
Отношение мер ползучести			3,1	2,85	2,42						
Внецентренное сжатие . .	7×7	44	2,05	10,7	22,3	1,3	1,0	0,53	0,30	0,23	0,08
Внецентренное сжатие . .	14×14	44	0,64	4,4	9,1	1,0	0,50	0,20	0,17	0,07	0,06
Отношение мер ползучести			3,21	2,44	2,45						
Сжатие при изгибе	7×7	5,5	2,4	17,5	32,3	3,25	2,19	0,90	0,40	0,167	0,067
Сжатие при изгибе	14×14	5,5	0,80	5,8	13,5	1,25	0,75	0,40	0,20	0,13	0,08
Отношение мер ползучести			3,0	3,02	2,4						

* В табл. 4 t и z, в сутках.

На фиг. 5 представлены результаты опытов на ползучесть, проведенных автором (см. табл. 2 и 3).

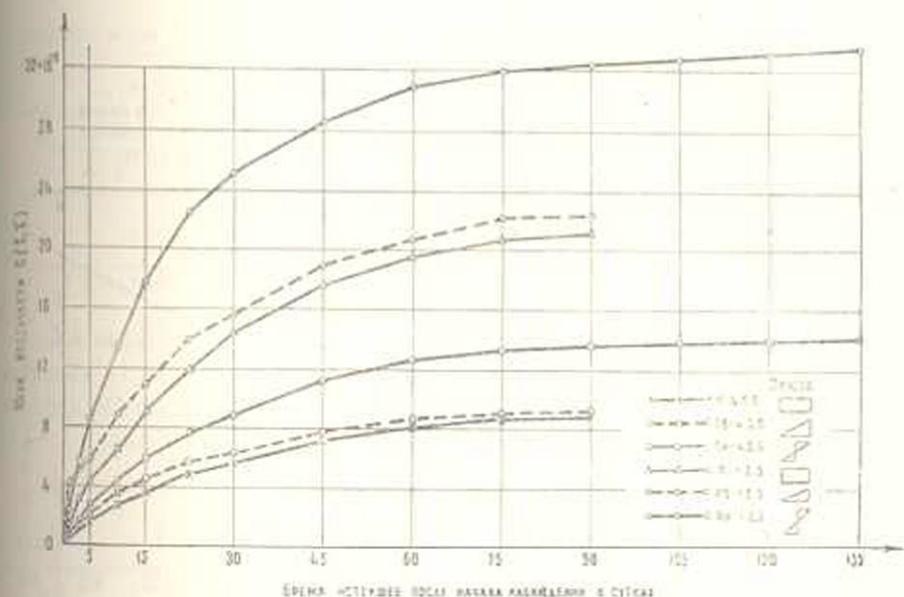
Верхние три кривые относятся к сечениям образцов размером 7×7 , нижние три — 14×14 см. Из фиг. 5 видно, что с увеличением размера поперечного сечения мера ползучести бетонного образца уменьшается.

Отношения мер ползучести образцов с меньшими и большими размерами поперечных сечений изменяется: с 3 в 15 суток до 2,4 в 90 суток для изгибаемых образцов и с 2,8 в 15 суток до 2,4 в 90 суток для центрально и внецентренно сжатых (см. табл. 4).

Отсюда можно сделать вывод, что влияние размеров поперечного сечения на деформации ползучести бетонных образцов мало зави-

сит от вида деформированного состояния. Кроме того, как видно из табл. 4, к трем месяцам после загрузки образцов скорости роста мер ползучести становятся примерно одинаковыми.

Нами сделана попытка обобщить результаты опытов [9], [14], [15], [12], Бертье [13] и автора. Для этого построен график зависимости отношения мер ползучести от параметра n/ω , равного отношению периметра образца к площади его поперечного сечения (фиг. 6)*.



Фиг. 5. Кривые ползучести бетонных образцов с поперечным сечением 7×7 и 14×14 см при различных эпюрах напряжений.

По опытным точкам, полученным при испытании бетонных образцов, загружаемых в возрасте $\tau = 28$ суток, построены три кривых для $t = 80, 160$ и 500 суток. При построении кривой для $t = 500$ суток, ползучесть образца $d = 10$ см определялась по формуле Роша [15], куда входят коэффициенты a и b , взятые из графика, построенного Девисом [15]. Остальные значения получены на основании опытных данных. На фиг. 6 нанесена так же кривая влияния размеров поперечного сечения образца на деформации ползучести, построенная на основании графика, рекомендуемого Ф. Леонгардтом [12].

Результаты фиг. 6 показывают резкое увеличение деформаций ползучести с уменьшением поперечного сечения образца от 14×14 до 7×7 см (в 2,5 раза) и менее заметное — от $d = 25$ до 14×14 см (в 1,15 раза). Из фиг. 6 так же видно, что влияние масштаба на ползучесть уменьшается с увеличением возраста бетона, хотя в пределах $160 \leq t < 500$ суток заметного изменения уже не наблюдается.

* На фиг. 6 к $n/\omega = 0,286$ относятся образцы с поперечным сечением 14×14 с небольшим допущением — 15×15 и $d = 15$ см.

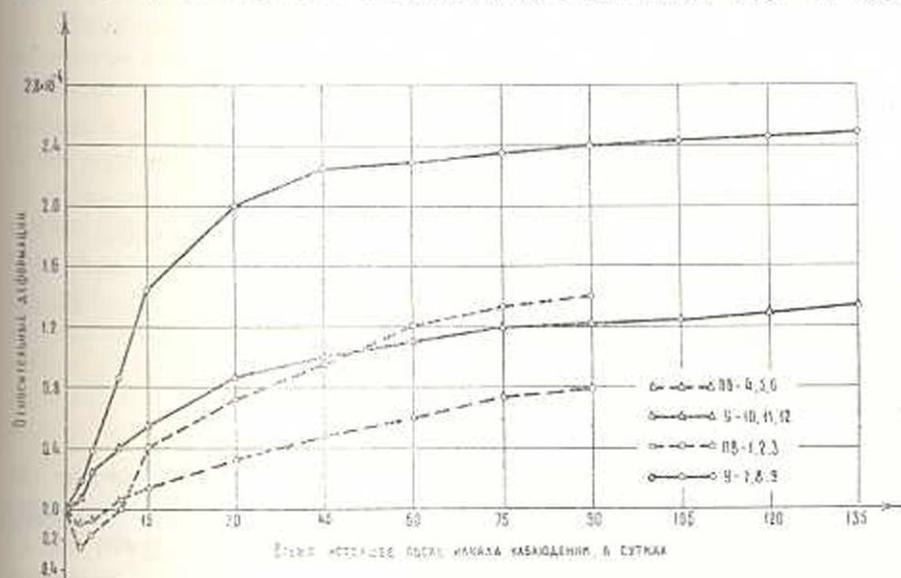
вала времени больше 1,5. При этом, наибольшие величины этого отношения характерны для интервала $29 \leq t \leq 43$, т. е. для интервала наибольшей скорости развития усадочных деформаций ненагруженных образцов. Вероятно и увеличение отношения C_u/C в этом периоде связано с развитием части усадочных деформаций, проявляющихся только при наличии напряжений и выявленных в опытах С. В. Александровского [1].

Таблица 5

Отношение меры ползучести при изгибе к мере ползучести при центральном сжатии

Сечение см	C_u (28.04,28)	C_u (33,28)	C_u (43,28)	C_u (58,28)	C_u (88,28)	C_u (118,28)
	C (28.04,28)	C (33,28)	C (43,28)	C (58,28)	C (88,28)	C (118,28)
7x7	1,52	2	1,91	1,74	1,60	1,54
14x14	1,56	1,87	1,82	1,60	1,58	1,55

Характерно, что отношение C_u/C через час после приложения нагрузки (1,52 и 15,6), т. е. когда влияние усадки было ничтожным, и через 90 суток, т. е. когда процесс усадки в основном закончился (1,54 и 1,55), сравнительно незначительно отличаются друг от друга.



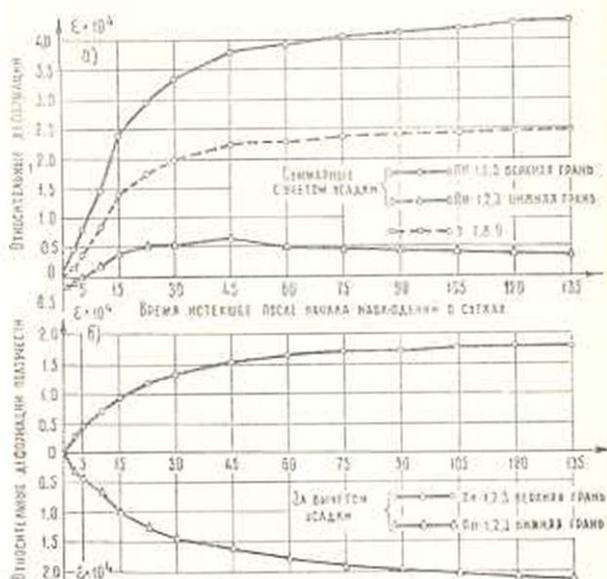
Фиг. 7. Кривые деформаций усадки (см. фиг. 3) и граней внецентренно сжатых призм, теоретические напряжения в которых равны нулю.

На фиг. 7 пунктирными линиями показаны относительные деформации граней внецентренно сжатых призм, напряжения в которых, по формулам сопротивления материалов, равны нулю. В течение первых нескольких дней происходят отрицательные деформации (растяжение) или что тоже-перемещение нейтральной линии к середине по-

перечного сечения. В дальнейшем, отрицательные деформации уменьшаются и после перехода через нуль происходит нарастание деформаций сжатия. Это совпадает с картиной изменения деформаций при внецентренном сжатии, выявленной в опытах А. Н. Кузнецова и описанной А. А. Гвоздевым [7]. Однако, если рассматривать только деформации ползучести, то картина получается иная.

На фиг. 7 представлены так же кривые деформаций усадки. Из того, что деформации на рассматриваемой грани ненагруженного образца больше соответствующих деформаций нагруженного образца, следует, что деформации ползучести здесь отрицательные.

На фиг. 8-а показаны деформации верхних и нижних граней изгибаемых образцов сечением 7×7 см и соответствующие деформации



Фиг. 8. а) Кривые деформаций верхних и нижних граней изгибаемых образцов сечением 7×7 см и деформации усадки, б) деформации за вычетом усадки (деформации ползучести).

ненагруженных образцов. На фиг. 8-б показана разность между этими деформациями, т. е. деформации ползучести.

Из фиг. 8-б видно, что после трех месяцев пребывания под нагрузкой деформации растянутой зоны бетонных образцов превысили деформации сжатой зоны всего лишь на 10%. Это примерно соответствует результатам опытов, проведенных А. Е. Шейкиным и В. Л. Николаевым [19].

7. Как видно из результатов проведенных опытов, представленных в табл. 4, мера ползучести бетонных образцов при внецентренном сжатии и особенно при изгибе больше меры ползучести при центральном сжатии. Скорость деформации ползучести внецентренно сжатых и изгибаемых образцов вначале больше скорости деформаций

ползучести центрально сжатых образцов⁶. С течением времени имеется тенденция к выравниванию этих скоростей.

Однако еще не ясно изменение скоростей в интервалах времени, превышающих 120 суток с момента приложения нагрузки.

Укажем, что на большую ползучесть бетонных образцов при изгибе, чем при центральном сжатии, на основании своих, ранее проведенных опытов, неоднократно обращал внимание С. В. Александровский.

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 длительной нагрузке [22]. Здесь хорошее соответствие теории опытным данным 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, внецентренном сжатии и изгибе является большая, по сравнению со средней по сечению, ползучесть бетона у наружной поверхности. Последнее связано с более высокой скоростью высыхания наружных слоев и неоднородностью структуры бетона в поперечном сечении образца [21].

Проведенные исследования позволяют сделать выводы о том, что при оценке влияния ползучести на напряженное и деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций необходимо учитывать: а) размеры поперечных сечений элементов, входящих в состав этих конструкций, б) форму эпюры напряжений.

В частности, эти факторы должны учитываться при разработке методов определения потерь от предварительного напряжения, разработке теории расчета балок при длительной нагрузке и т. д.

Одесский инженерно-строительный институт

Поступила 10 VI 1961

Ի. Ի. ՏԵՐԵՆՈՎ

ԲԵՏՈՆԵ ՊՐԻՋՄԱՅԱԶԵՎ ՆՄՈՒՇԻ ԼԱՅՆԱԿԱՆ ՀԱՏՈՒՅՑԻ ԶԱՓԵՐԻ ԵՎ
ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ԷՊՅՈՒՐԻ ԶԵՎԻ ԱԶԴԵՑՈՒՅՑՈՒՆԸ
ՍՈՂՔԻ ԴԵՖՈՐՄԱՑԻԱՆԵՐԻ ՎՐԱ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հարվածում շարադրված են շմկուսացված մակերևույթ ունեցող բետոնե նմուշների սողքի դեֆորմացիաների մեծությունը վրա լաֆնական հասույթ-

⁶ Исключение составляют внецентренно сжатые образцы с поперечным сечением 7×7 см у которых скорость деформации ползучести оказалась меньше соответствующей скорости центрально сжатых образцов.

ների ազդեցութիւնն էրապերիմետայ հետազոտութիւնների արդունքները և արված են մի քանի բնականըացումներ:

Բերված են էրապերիմետայ ավազներ չմեկուսացված մակերևույթ ունեցող բնածն նմուշների սողքի շարի մեծութիւնն զրա լարումների էպլուրի ձևի ազդեցութիւնն վերաբերյալ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Александровский С. В. О влиянии длительного действия внешней нагрузки на режим высыхания и усадку бетона. Сборник „Исследование свойств бетона и железобетонных конструкций“. Труды НИИЖБ, вып. 4, ГИЗ литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, М., 1959.
2. Александровский С. В. О тепло-физических свойствах бетона, связанных с тепло- и влагообменом. Сборник „Исследование свойств бетона и железобетонных конструкций“. Труды НИИЖБ, вып. 4, ГИЗ литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, М., 1959.
3. Александровский С. В. О влажностных деформациях бетона. Инженерно-физический журнал, 3, № 12, 1960.
4. Александровский С. В., Таль К. Э. Основные физико-механические свойства бетона. Справочник проектировщика. Сборник железобетонные конструкции. НИИ бетона и железобетона. ГИЗ литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, М., 1959.
5. Арутюник Н. X. Некоторые вопросы теории ползучести. ГИЗ технико-теоретической литературы, 1952.
6. Васильев П. И. Пластические свойства бетона и их влияние на работу бетонных сооружений. Сборник статей „Теория расчета и конструирования железобетонных конструкций“. ГИЗ литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, М., 1958.
7. Гвоздев А. А. Опыт теории ползучести бетона. Известия АН СССР, ОТН, № 9—10, 1943.
8. Гвоздев А. А. Ползучесть бетона и пути ее исследования. Сборник „Исследования прочности, пластичности и ползучести строительных материалов“ ЦНИПС, 1955.
9. Карапетян К. С. Влияние размеров образца на усадку и ползучесть бетона. Известия АН АрмССР, серия ФМЕТ наук, 9, № 1, 1956.
10. Карапетян К. С. Ползучесть бетона при высоких напряжениях. Известия АН АрмССР, серия ФМЕТ наук, 6, № 2, 1953.
11. Катин Н. И. Исследование ползучести бетона при высоких напряжениях. Сборник „Исследование свойств бетона и железобетонных конструкций“. Труды НИИЖБ, вып. 4, ГИЗ литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, М., 1959.
12. Леонгардт Ф. Напряженно армированный железобетон. ГИЗ литературы по строительству и архитектуре, М., 1957.
13. Лермит Р. Проблемы технологии бетона. Госстройиздат, 1959.
14. Прокопович И. Е. Влияние длительных процессов на напряженное и деформированное состояние некоторых сооружений. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук, Одесский инженерно-строительный институт, 1958.
15. Саташкин А. В. Ползучесть бетона. Сборник „Прочность, упругость и ползучесть бетона“ под редакцией проф. Н. М. Безлева. Стройиздат Наркомстроя, 1941.
16. Улицкий И. И. Ползучесть бетона. Гостехиздат Украинской ССР, 1948.
17. Фрайфельд С. Е. Собственные напряжения в железобетоне. Стройиздат Наркомстроя, 1941.
18. Шейкин А. Е. К вопросу прочности, упругости и пластичности бетона. Строительная механика и мосты. Труды МИИТ, вып. 69, Трансжелдориздат, 1946.

19. Шейкин А. Е., Гиколаев В. Л. Об упруго-пластических свойствах бетона при растяжении. Бетон и железобетон, № 9, 1959.
20. Эйдельман С. Я. Определение характеристик упругости и ползучести бетона в сооружениях. Гидротехническое строительство, 5, 1952.
21. Сообщение „Экспериментально-теоретическое исследование жесткости железобетонных изгибаемых элементов при длительном нагружении“. Академия строительства и архитектуры УССР, НИИ строительных конструкций, Киев, 1961.
22. Промежуточный отчет „Изгиб железобетонных балок при длительном действии нагрузки“. Раздел А. Балки с обычной арматурой. Одесский инженерно-строительный институт, 1960.