

ТЕОРИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ

К. С. Карапетян

Влияние размеров образца на усадку и ползучесть бетона

1. Из опытов, хотя и немногочисленных, известно, что размеры бетонного элемента оказывают существенное влияние на усадку и ползучесть бетона и что с увеличением размеров образца эти деформации уменьшаются [1, 9, 12].

Между тем в лабораторных условиях усадку и ползучесть бетона обычно определяют на образцах, размеры которых существенным образом могут отличаться от размеров конструкции. Поэтому определяемые таким путем деформации не могут быть отнесены к деформациям бетона в конструкциях. Исследование же деформаций непосредственно в конструкциях связано с рядом технических затруднений [14].

В настоящей работе предлагается новый метод лабораторного исследования, который позволяет путем ведения опытов на малых образцах с достаточной точностью установить изменение деформаций в зависимости от размеров бетонного элемента.

Для объяснения природы и механизма явления усадки, а также явления ползучести бетона, существуют различные гипотезы.

По мнению ряда исследователей [8, 9, 10], для усадки бетона наиболее правильной является гипотеза, согласно которой усадка бетона является следствием как физико-химических процессов, сопровождающих схватывание и твердение цементного камня, так и капиллярных явлений.

Что же касается ползучести бетона, то существующие гипотезы можно свести к трем основным. По первой гипотезе (Е. Фрейсинэ) ползучесть бетона, как и усадка, является следствием капиллярных явлений в порах бетона [11].

Согласно второй гипотезе (А. Е. Шейкин и И. И. Улицкий), ползучесть бетона является лишь следствием вязкости гелевой структурной составляющей цементного камня [10, 13].

Третья гипотеза [3, 8, 9], которая принимается и нами, вытекает из первых двух и объединяет их в одну единую гипотезу, согласно которой ползучесть бетона обусловлена как капиллярными явлениями, так и вязкостью гелевой структурной. Эта гипотеза подтверждается нашими опытами, результаты которых частично приводятся в настоящей работе.

2. Из опытов известно, что при относительной влажности воздуха $P=50\%$, массив в течение месяца высушивается лишь на глубину 8 см и что для просушивания массива на глубину 60 см необходимо 10 лет [12]. Это говорит о том, что из ядровых частей больших массивных бетонных конструкций вода во времени испаряется незначительно.

Если исходить из приведенной выше гипотезы механизма усадки бетона, а также принятой нами гипотезы ползучести бетона, то надо полагать, что в ядровых частях больших массивных бетонных конструкций усадка в основном происходит за счет химических процессов схватывания и твердения бетона, а ползучесть бетона — за счет вязкости гелевой структурной составляющей цементного камня. В этом случае с достаточной точностью для практики можно считать, что усадка и ползучесть бетона, вследствие капиллярных явлений, будут незначительны, так как испарение существенно затруднено.

Отсюда заключаем, что, если определять усадку и ползучесть бетона на лабораторных образцах, в которых испарение воды из бетона будет исключено, то их деформации будут примерно соответствовать усадке и ползучести бетона ядровой части массива. При этом, учитывая то обстоятельство, что деформации массива в большой степени обусловлены деформациями его ядра, полученные таким путем лабораторные данные можно отнести к общим деформациям массива.

Конечно, вообще говоря, большая усадка и ползучесть наружных частей массива в некоторой степени отразится на его общей деформации, однако это зависит от размеров массива и влажности окружающей его среды. И чем больше будут размеры массива и влажность, тем получим более точные данные для массива.

На основании вышеизложенного, в основу методики наших исследований в части оценки деформаций усадки ползучести в массиве было принято определение этих деформаций на малых лабораторных образцах с исключением испарения воды из образцов. Однако такая методика может быть справедливой лишь в том случае, если деформации усадки и ползучести, определяемые на образцах разных размеров, при отсутствии испарения и прочих равных условиях, будут одинаковыми. Иначе говоря, при изолированных образцах, в которых испарение из бетона не имеет места, фактор масштабности образца не должен оказывать влияния на усадку и ползучесть бетона.

Кроме оценки усадки и ползучести бетона в массивах, путем определения деформаций на малых изолированных образцах, здесь предлагается, сочетая эти опыты с опытами над различными неизолированными образцами небольших размеров, установить изменение деформаций в зависимости от размеров бетонного элемента. При этом будут охвачены все размеры конструкций.

3. Проведенные экспериментальные исследования были выполнены над двумя составами легкого бетона на заполнителе из лито-

идной пемзы. Характеристики примененных для опытов материалов указаны в табл. 1. Составы исследованных бетонов приведены в табл. 2.

Опыты проводились над цилиндрическими образцами $d=10, 14$ и 25 см. Высота образцов равнялась 60 см.

Приготовление бетона производилось вручную, а уплотнение — на виброплощадке при продолжительности вибрации 30 сек. Образцы освобождались от форм на третий день. Часть образцов тут же покрывалась по наружной поверхности слоем битума и сверху обертывалась восковой. Определение содержания влаги в бетоне различного возраста показало, что подобная изоляция почти полностью исключает испарение.

Для длительного сжатия цилиндрических образцов были применены специальные приспособления (фиг. 1, 2).



Фиг. 1.



Фиг. 2.

Измерение деформаций производилось стационарными деформаторами на базе 500 мм.

4. Первые опыты по исследованию влияния размеров образца на усадку были выполнены над бетоном состава № 1 (табл. 2). Эта серия цилиндрических неизолированных образцов $d=14$ и 25 см и

Таблица 1

Характеристика щебня, песка и портландцемента

№ № состава	Характеристика крупного заполнителя						Характеристика мелкого заполнителя		Активность цемента в кг/см ²
	порода	прочность в кг/см ²	модуль уп- ругости в т/см ²	объемный вес щебня в т/м ³	объем пу- стот щебня в %	процент во- допоглоще- ния щебня	порода	объемн. вес т/м ³	
1	литойди. пемза	210	95	0,82	49	9,5	литойди. пемза	1,09	400
2	"	—	—	0,78	44	—	"	1,07	360

Таблица 2

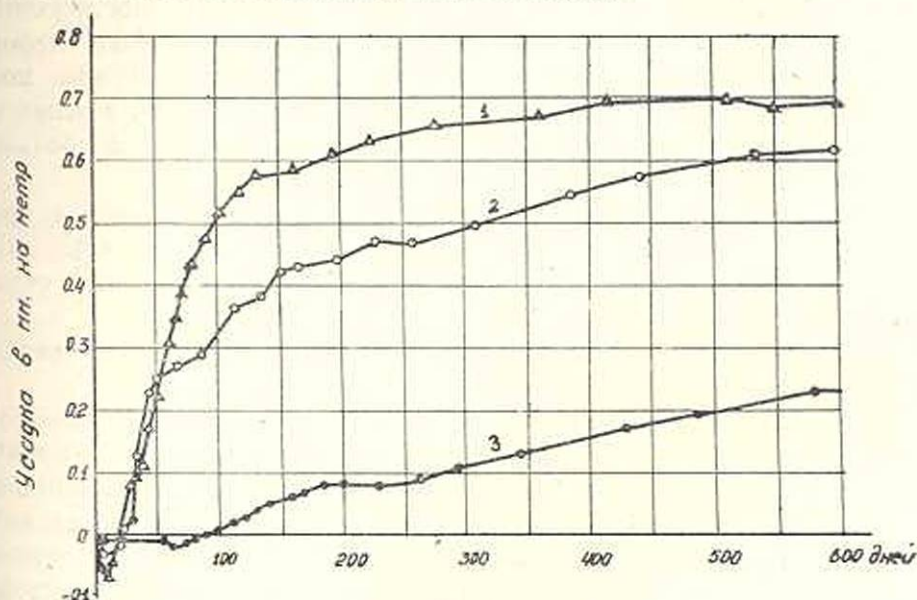
Составы и механические характеристики исследованных бетонов

№ № состава	В П по весу	Расход материалов на 1 м ³ бетона в кг				Объемн. вес свежеулож. бетона в т/м ³	Объемный вес бетона в возрасте 28 дн. в т/м ³	Осадка ко- нуса в см*	Кубик. прочность в кг/см ²	Модуль уп- ругости в возрасте 28 дн. при 0,5 R _u в кг/см ²
		цемент	песок	щебень	вода					
1	0,95	295	454	708	280	1,74	1,73	1	201	95 000
2	0,96	282	428	709	271	1,69	1,56	5	155	85 000

* Высота конуса составляла 40 см.

изолированных $d=14$ см после освобождения из форм хранилась в помещении $t=21\pm 7^\circ\text{C}$ и $P=50\pm 10\%$. При этом неизолированные образцы до месячного возраста находились во влажных опилках.

На фиг. 3 приведены кривые усадки исследуемого бетона, из коих кривая 1 представляет усадку цилиндрических образцов диаметром 14 см без изоляции, кривая 2 — усадку аналогичных образцов диаметром 25 см и, наконец, кривая 3 — усадку изолированных образцов диаметром 14 см. Каждая кривая построена на основании средних деформаций двух образцов.



Фиг. 3.

Как следует из фиг. 3, характерной особенностью развития процесса усадочных деформаций легких бетонов является увеличение их объемов в начальный период твердения. Такая закономерность наблюдалась во всех наших исследованиях и подтверждается опытами других исследователей [4, 7].

Приведенные кривые показывают, что усадочные деформации в малых неизолированных образцах, после периода набухания, длившегося 17 дней, развиваются более интенсивно, чем в больших образцах. В результате этого деформации усадки малых образцов раньше достигают своего предельного значения. Указанное обстоятельство следует объяснить тем, что с уменьшением размеров образца возрастает модуль поверхности, а вместе с тем и интенсивнее развиваются усадочные деформации.

Из приведенных кривых видно также, что усадка малых образцов наиболее интенсивно развивается до возраста 130 дней, после чего ее интенсивность постепенно падает, и в возрасте 420 дней усадка практически прекращается. Что же касается больших образцов, то в них после возраста 130 дней явление усадки интенсивно

продолжается и происходит в течение более длительного времени — до возраста 530 дней. Наибольшая разница между усадкой малых и больших образцов имеет место в период возрастов 3—4,5 месяца. В это время усадка малых образцов на 50—60% больше усадки больших образцов. Далее, с увеличением возраста бетона эта разница уменьшается, и при предельных деформациях составляет 10—12%.

Рассмотрение кривых усадки изолированных и неизолированных образцов диаметром 14 см показывает, наконец, что в то время, как в образцах без изоляции идет интенсивная усадка, достигающая в возрасте 3 месяцев почти 80% предельного значения деформации, в образцах с изоляцией наружной поверхности битумом кончается период набухания и начинается усадка. В итоге, в возрасте 600 дней, усадка образцов без изоляции почти в 3 раза больше усадочных деформаций изолированных образцов.

Таким образом, исключение испарения воды из бетона при прочих равных условиях приводит к значительному увеличению длительности периода набухания (в 5 раз) и резко уменьшает усадку бетона (в 3 раза).

Данные опыты показывают, насколько существенна роль капиллярных явлений в усадке бетона.

Предельная деформация неизолированных образцов диаметром 14 см составляет 0,7 мм/м, а образцов диаметром 25 см — 0,61 мм/м и, наконец, изолированных малых образцов — 0,23 мм/м. Это показывает, что деформации даже больших неизолированных образцов в несколько раз больше деформаций изолированных малых образцов. Последнее вполне закономерно и вытекает из физической природы данного явления. По мере дальнейшего увеличения размеров образцов деформации последних по своей величине постепенно будут приближаться к деформациям изолированных образцов.

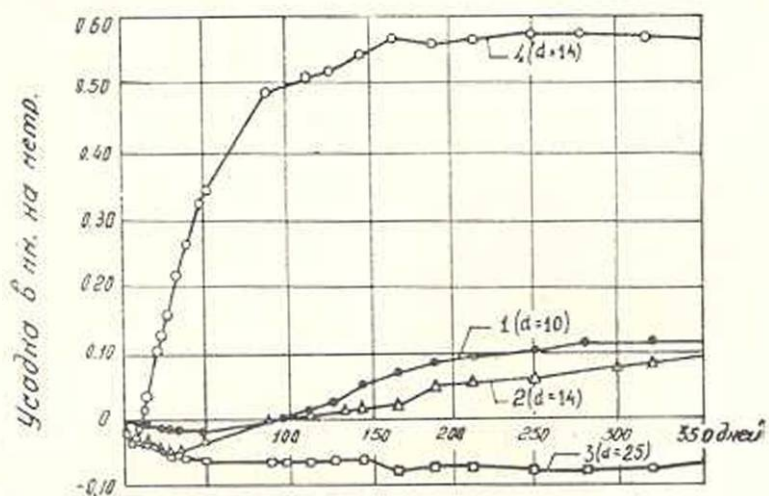
Величина усадки изолированных образцов — 0,23 мм/м, видимо, примерно соответствует усадке массива, уложенного из бетона того же состава.

Однако, чтобы экспериментально проверить, можно ли относить деформации изолированных малых образцов к деформации бетона в массиве, нами были поставлены опыты над изолированными образцами различных размеров. Необходимо было установить, отпадает ли влияние размеров образцов на усадку и ползучесть бетона при исключении испарения воды из бетона.

Для этой цели усадка и ползучесть определялись на изолированных образцах диаметром 10, 14 и 25 см и одновременно, в качестве эталона — на неизолированных образцах диаметром 14 см. Опыты производились над бетоном состава № 2. Полученные кривые усадки бетона приведены на фиг. 4.

Здесь мы наблюдаем закономерность развития усадочных деформаций в изолированных образцах диаметром 14 см (кривая 2).

аналогичную имевшей место в ранее приведенных опытах. Длительность периода набухания и в этом случае составляет примерно три месяца. Наблюдается и другая закономерность: с увеличением размеров образца возрастают как деформация набухания, так и длительность этой деформации. Длительность набухания для образцов $d=10$ и 14 см (кривые 1 и 2) составляет 85–95 дней; что же касается



Фиг. 4.

образцов $d=25$ см (кривая 3), в них, как мы видим, в возрасте 350 дней еще не началась усадка. Аналогичное явление наблюдалось также в опытах других исследователей [7].

Кривые усадки изолированных образцов различного диаметра показывают, что их деформации несколько отличаются друг от друга, хотя при этом деформации образцов $d=10$ и 14 см практически можно считать одинаковыми. Следовательно, влияние размеров образца на объемные деформации бетона имеет место и при изолированных образцах. Надо полагать, что это является следствием экзотермии цемента, так как здесь существует определенная закономерность, заключающаяся в том, что чем больше образец, тем больше как длительность, так и деформация набухания и тем меньше последующая усадка. Очевидно, если бы не было экзотермии цемента, влияние которой не представляется возможным исключить, то деформации усадки изолированных образцов различных размеров были бы одинаковыми.

Помимо экзотермии цемента, набухание легкого бетона отчасти обусловлено также набуханием его пористого заполнителя. Из опытов известно, что при хранении в воде туфа, пемзы и других пористых каменных материалов они набухают, а при последующем высыхании дают усадку.

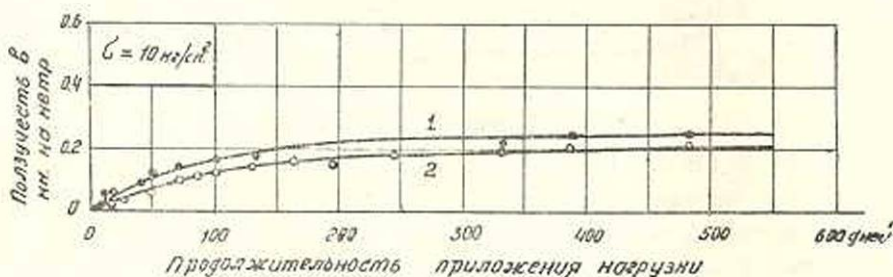
Большие усадки и ползучесть легких бетонов при воздушном хранении отчасти объясняются набуханием и усадкой их пористых

заполнителей [4, 5]. Набухание легкого бетона, обусловленное набуханием его пористого заполнителя, по причине только насыщения заполнителя водой при изолированных образцах различных размеров будет одинаковым. Поэтому причиной небольшого отличия в объемных деформациях изолированных образцов различных размеров является различное их тепловое расширение благодаря экзотермии цемента, так как влияние последней тем больше, чем больше образец.

На основании данных опытов деформации изолированных образцов диаметром 10 и 14 см практически можно отождествлять с усадкой бетона в массиве, ибо в малых образцах влияние экзотермии почти исключается.

5. Рассмотрим результаты исследования влияния размеров образца на ползучесть бетона.

На фиг. 5 приведены кривые ползучести бетона (состав № 1) неизолированных образцов диаметром 14 и 25 см при напряжении 10 кг/см^2 . Верхняя кривая соответствует малым образцам, а нижняя — большим.



Фиг. 5.

До загрузки длительной нагрузкой в месячном возрасте образцы хранились во влажной камере, далее в помещении при $t=21 \pm 7^\circ\text{C}$ и $P=50 \pm 10\%$, т. е. в воздушных условиях.

При рассмотрении кривых заметно, что с увеличением размеров образца деформации ползучести уменьшаются. В данном случае получается, что при прочих равных условиях деформации ползучести цилиндрических образцов диаметром 14 см на 20% больше ползучести образцов диаметром 25 см. Последнее объясняется тем, что с увеличением размера образца доступ воды из глубины к его поверхности затрудняется, вследствие чего процесс испарения замедляется. По этой причине в больших образцах как усадка, так и ползучесть по толщине образца происходят более неравномерно, чем в малых образцах, что в итоге приводит к меньшей усадке и меньшей ползучести больших образцов.

На фиг. 6 приведены две кривые ползучести бетона состава № 1. Верхняя кривая соответствует ползучести неизолированных образцов диаметром 14 см, а нижняя — ползучести изолированных образцов тех же размеров. Из фиг. 6 следует, что и в этом случае, как и при

усадке, исключение испарения приводит к существенному уменьшению деформаций ползучести, причем разница между деформациями изолированных и неизолированных образцов с увеличением длительности нагружения уменьшается.

Отношение деформаций ползучести неизолированных образцов к деформациям изолированных образцов при длительности нагружения 50 дней составляет 5,26; при 100 днях — 4,5; 200 днях — 3,2; 400 днях — 2,2 и при 550 днях — 2,1.



Фиг. 6.

Итак, испарение играет существенную роль не только в явлении усадки бетона, но также и в явлении ползучести бетона при сжатии. Последнее говорит о том, что явления усадки и ползучести не являются независимыми. Взаимосвязь этих явлений, помимо количественных показателей, подтверждает также то, что и характер кривых деформаций усадки и ползучести изолированных образцов идентичный.

При постановке опытов с изолированными образцами мы преследовали две цели: во-первых, на основании прямых опытов проверить правильность некоторых существующих гипотез ползучести, а также принятой нами гипотезы и, во-вторых, проверить правильность предлагаемой нами методики для оценки усадки и ползучести бетона в массивах с помощью ведения опытов на лабораторных изолированных образцах.

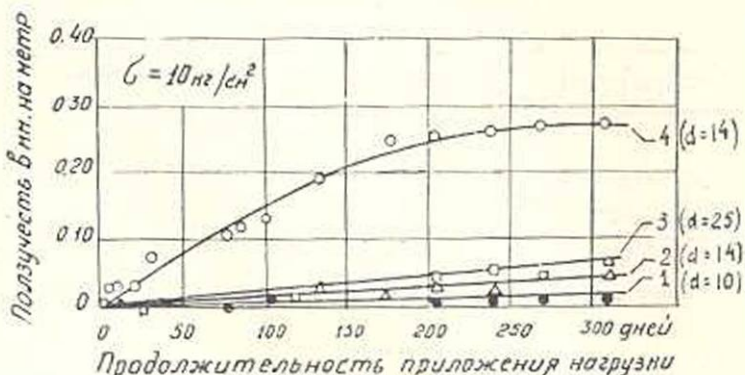
Приведем результаты исследования ползучести бетона на изолированных образцах различных размеров. Указанные образцы были изготовлены из бетона того же замеса, что и усадочные образцы (состав № 2). Кривые усадки по данным этих опытов были приведены на фиг. 4.

На фиг. 7 приведены кривые ползучести изолированных образцов диаметром 10, 14 и 25 см, а также кривая ползучести бетона неизолированных образцов диаметром 14 см (кривая 4). Образцы были нагружены длительной нагрузкой в возрасте 14 дней при напряжении в бетоне 10 кг/см^2 . Хранение было аналогичным хранению усадочных образцов.

Рассматривая кривые ползучести, мы наблюдаем, как и в опытах усадки бетона, интенсивное развитие деформаций ползучести

неизолированных образцов и одновременно то обстоятельство, что отличие деформации изолированных образцов различного диаметра незначительно.

Каждая кривая ползучести на фиг. 7 соответствует средним значениям деформаций двух образцов, а деформации каждого образца получены на основании показаний двух деформаторов, установленных на каждом образце.



Фиг. 7.

При нанесении кривой ползучести бетона в отдельности для каждого образца мы получим семейство кривых, которые еще ближе расположатся друг к другу.

Результаты проведенной серии опытов позволяют прийти к заключению, что при исключении процесса испарения воды из образца фактор его масштабности отпадает. Это существенное обстоятельство и дает нам основание отнести ползучесть, определяемую на изолированных малых образцах в обычных лабораторных условиях, к ползучести бетона в массиве.

Если принять, что ползучесть изолированных образцов диаметром 14 см соответствует ползучести бетона в массиве, а ползучесть неизолированных образцов — ползучести того же бетона в тонкостенной конструкции, то кривые ползучести бетона для конструкций с промежуточными размерами поперечного сечения займут положение между кривыми 2 и 4 (фиг. 7).

Таким образом, для возможности дифференциации деформации усадки и ползучести в соответствии с размерами поперечного сечения конструкций достаточно определить в лабораторных условиях усадку и ползучесть бетона на нескольких образцах различных размеров без исключения испарения и на одном размере образцов с исключением испарения. На основании этих данных можно установить изменения усадки и ползучести бетона в зависимости от размеров поперечного сечения бетонного элемента. При этом данными зависимостями будут охвачены все размеры бетонных конструкций, начиная от тонкостенных и кончая массивными.

Такая методика дает возможность в обычных лабораторных

условиях получать деформации усадки и ползучести в зависимости от размеров поперечного сечения конструкции, не прибегая к натурным исследованиям.

В настоящее время по предлагаемой методике нами поставлена новая серия опытов. В этих опытах под длительную нагрузку установлены цилиндрические туфобетонные образцы диаметром 10, 14, 25 и 50 см, как изолированные, так и без изоляции. Для обеспечения длительной постоянной нагрузки цилиндрических образцов диаметром 50 см впервые применены большие рычажные приспособления, обеспечивающие усилие до 30 тонн (фиг. 8 и 9).

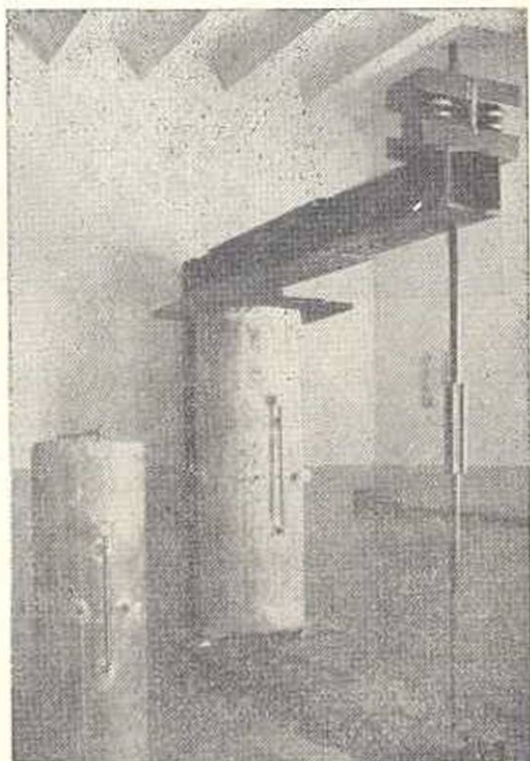
6. Опыты с изолированными образцами были поставлены также с целью проверки существующих гипотез механизма ползучести бетона и принятой нами гипотезы.

По кривым ползучести бетона, приведенным на фиг. 7, деформация неизолированных образцов диаметром 14 см при длительности загрузки 300 дней почти в 6 раз больше деформации таких же образцов с изоляцией.

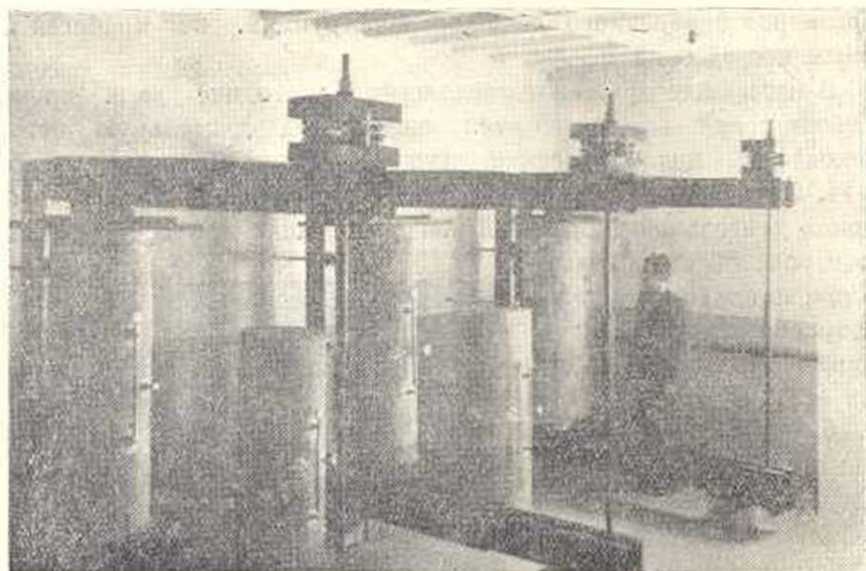
Очевидно, при предельных деформациях это соотношение несколько уменьшится. Столь большая разница в деформациях свидетельствует о существенной роли испарения в явлении ползучести бетона. Для того, чтобы было более убедительным, что разница в деформациях изолированных и неизолированных образцов вызвана именно испарением воды из бетона, а не различием в вязкостях цементного геля, рассмотрим результаты испытания прочности исследуемого бетона в различных возрастах (состав № 2).

Как показывают данные таблицы 3, прочность бетона в изолированных и неизолированных образцах соответствующих возрастов почти одинакова, а поэтому надо полагать, что исключение испарения, во всяком случае до возраста 90 дней, не могло привести к существенному различию в свойствах цементного камня. Между тем кривые ползучести с первых же дней загрузки показывают су-

Известия IX, № 1—7



Фиг. 8.



Фиг. 9.

ущественную разницу в ползучести изолированных и неизолированных образцов, соотношение которых при длительности загрузки 2,5 месяца уже составляет 6 (фиг. 7). Поэтому причиной столь большой разницы в деформациях могло явиться не различие в вязкостях

Таблица 3
Влияние испарения на нарастание прочности
бетона во времени

Наименование образцов	Предел прочности бетона при сжатии в кг/см^2 в возрасте		
	14 дней	28 дней	90 дней
Неизолированные	113	155	195
Изолированные	117	141	215

цементного геля изолированных и неизолированных образцов, а испарение воды из бетона.

Таким образом, ползучесть бетона при сжатии за счет испарения воды больше, чем ползучесть вследствие вязкости гелевой структурной составляющей цементного камня и уменьшается с увеличением размеров бетонного элемента и влажности окружающей среды.

Таким образом, принятая нами гипотеза, согласно которой ползучесть бетона является следствием как вязкости гелевой структурной составляющей, так и капиллярных явлений, правильно отражает данное явление. Однако необходимо отметить, что данная гипотеза механизма ползучести бетона справедлива лишь до определенных пределов напряжений, так как при высоких напряжениях — выше 0,55–0,6 предела прочности бетона — в бетоне появляются разрывы, микротрещины, развитие которых во времени также приводит к деформациям бетона [2, 6].

Следовательно, при высоких напряжениях механизм ползучести бетона сложнее, поскольку в этом случае имеют место еще и де-

формации, обусловленные появлением и развитием микротрещин в бетоне.

В свете изложенного приходим к следующему заключению: ползучесть бетона является следствием как вязкости гелевой структурной составляющей цементного камня, так и капиллярных явлений. При воздушном хранении бетона ползучесть при сжатии, обусловленная капиллярными явлениями, в несколько раз больше, чем ползучесть вследствие вязкости геля.

Размеры образца оказывают существенное влияние на деформации усадки и ползучести бетона, при этом, чем больше образец, тем меньше деформации.

Предлагаемая методика позволяет путем ведения опытов на малых лабораторных образцах установить изменение деформаций в зависимости от размеров поперечных сечений конструкций в самых широких пределах (включая массив).

Для установления изменения усадки бетона, а также его ползучести в зависимости от размеров поперечного сечения бетонного элемента, достаточно в лабораторных условиях определять усадку и ползучесть на нескольких образцах различных размеров без исключения испарения воды из бетона и на образцах одного размера с исключением испарения. При этом деформации образцов различных размеров конкретно будут представлять деформации бетона в конструкциях соответствующих размеров поперечного сечения, а деформации образцов, полученные на изолированных образцах, можно отнести к деформациям бетона в массиве.

Институт строительных материалов
и сооружений АН Армянской ССР

Поступило 10 VII 1955

Կ. Ս. Կարապետյան

ՆՄՈՒՇԻ ԶԱՓԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԵՏՈՆԻ ԿԾԿՍԱՆ ԵՎ ՍՈՂՈՒՆՈՒԹՅԱՆ ՎՐԱ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոգիածում բերված են բետոնի կծկման և սողունության զեֆորմացիաների վրա նմուշի չափերի ազդեցության փորձնական հետազոտությունների արդյունքները:

Փորձերը ցույց են տալիս, որ բետոնի նմուշի չափերն զգալի ազդեցություն ունեն կծկման և սողունության զեֆորմացիաների մեծության վրա. որքան մեծ է նմուշը, այնքան փոքր են նրա զեֆորմացիաները:

Առաջարկվում է նոր մեթոդ, որով հնարավոր է դառնում լաբորատոր փոքր նմուշները վրա կատարված փորձերի արդյունքների միջոցով ստանալ կծկման և սողունության զեֆորմացիաների փոփոխությունը, կախված կոնստրուկցիայի լայնական կտրվածքի չափերի մեծությունից, ընդ որում մինչև մասնիկ կոնստրուկցիաների համար:

Հեղինակի փորձերի արդյունքները ցույց են տալիս, որ բետոնի սողունությունը հանդիսանում է ինչպես ցամաքային, այնպես էլ կապիլյար երևույթների հետեանք:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Арутюнян Н. Х. Некоторые вопросы теории ползучести. ГИЗ технико-теоретической литературы, 1952.
2. Берг О. Я. К вопросу прочности и пластичности бетона. ДАН СССР, т. XX, № 4, 1952.
3. Гольденблат И. И. Введение в теорию ползучести строительных материалов. ГИЗ по строительству и архитектуре, 1952.
4. Կարապետյան Կ. Ս. Экспериментальное исследование усадки туфобетона. Известия АН Армянской ССР, том III, № 7, 1950.
5. Կարապետյան Կ. Ս. О ползучести туфобетона. Известия АН Армянской ССР (серия ФМЕТ наук), том V, № 4, 1952.
6. Կարապետյան Կ. Ս. Ползучесть бетона при высоких напряжениях. Известия АН Армянской ССР (серия ФМЕТ наук), т. VI, № 2, 1953.
7. Мощанский Н. А. Плотность и стойкость бетонов. Госстройиздат, 1951.
8. Столяров Я. В. Введение в теорию железобетона. Стройиздат, 1941.
9. Саташкин А. В. Ползучесть бетона. Сборник „Прочность, упругость и ползучесть бетона“, под ред. проф. Н. М. Беляева. Стройиздат Наркомстроя, 1941.
10. Улицкий И. И. Ползучесть бетона. Гостехиздат Украинской ССР, 1948.
11. Фрейсинг Е. Переворот в технике бетона. ОНТИ, 1938.
12. Фрайфельд С. Е. Собственные напряжения в железобетоне. Стройиздат Наркомстроя, 1941.
13. Шейкин А. Е. К вопросу прочности, упругости и пластичности бетона. Труды МИИТ, вып. 69, Трансжелдориздат, 1946.
14. Эйдельман С. Я. Определение характеристик упругости и ползучести бетона в сооружениях. Гидротехническое строительство, 5, 1952.