

ТЕОРИЯ ПОЛЗУЧЕСТИ

К. С. КАРАПЕТЯН

ВЛИЯНИЕ ВЛАЖНОСТИ СРЕДЫ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ БЕТОНА

В работе приводятся результаты исследования влияния влажности среды на ползучесть бетона при сжатии и растяжении.

Опыты были поставлены над бетоном, приготовленным на песке и щебне из вулканического шлака Аванского месторождения (г. Ереван). В качестве вяжущего был применен пуццолановый портландцемент Араратского завода активностью 471 кг/см^2 . Состав бетона по весу $1:2, 51:2,65, B/C = 1,18$.

Испытывались призматические образцы и восьмерки сечением $10 \times 10 \text{ см}$. Высота призм составляла 40 и 60 см, а восьмерок — 60 см. Образцы бетонировались в металлических формах, в горизонтальном положении.

Образцы освобождались от форм через 48 часов, после чего 50% хранились в обычных, а 50% во влажных условиях. Образцы, хранившиеся в обычных условиях, были как изолированные, так и без изоляции. Изоляция наружной поверхности образцов с целью исключения испарения воды из бетона осуществлялась непосредственно после освобождения их от форм путем нанесения нескольких слоев расплавленного парафина.

Призматические образцы и восьмерки высотой 60 см были нагружены длительной нагрузкой в возрасте 28 дней. Напряжение во всех призмах составляло 30 кг/см^2 , а в восьмерках — 4 кг/см^2 . Под длительную нагрузку были установлены 9 призм и 9 восьмерок. Параллельно на 6 призмах и 9 восьмерках определялись объемные деформации бетона.

В процессе длительных опытов в помещении обычного хранения температура $T = 18 \pm 5^\circ \text{C}$, а относительная влажность $P = 66 \pm 11\%$. В помещении влажного хранения $T = 20 \pm 4^\circ \text{C}$, а $P = 90 \pm 8\%$.

Для изучения влияния влажности среды на прочность и деформативность бетона при сжатии и растяжении были испытаны также кубики, призмы и восьмерки. Испытание призм высотой 40 см производилось ступенчатым нагружением образцов и выдержкой под каждой ступенью нагрузки в течение одной минуты. Каждая ступень нагрузки составляла примерно $0,1 R_{пр}$. Восьмерки испытывались без выдержки.

Для изучения влияния испарения воды из бетона на ползучесть через 107 и 105 дней длительного нагружения изоляции одной призмы

и одной восьмерки были сняты. Соответственно были сняты изоляции и ненагруженных образцов.

В табл. 1 приведены прочностные показатели бетона при сжатии.

Таблица 1

Влияние влажности среды на прочность бетона при сжатии

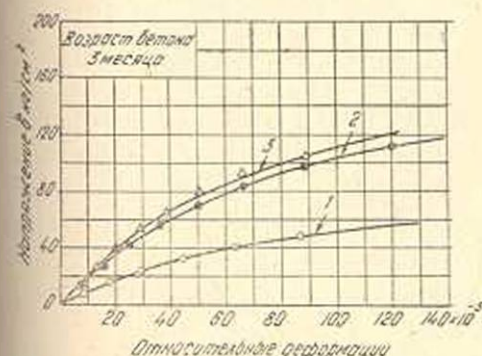
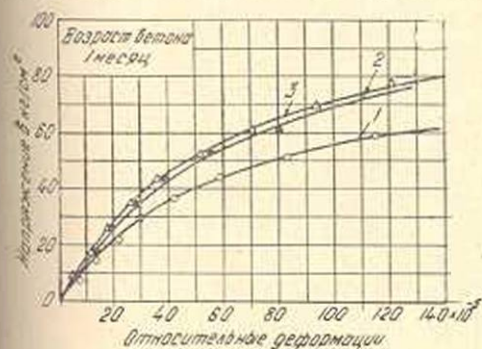
Условия хранения	R в кг/см^2 в возрасте		$R_{пр.}$ в кг/см^2 в возрасте		$\frac{R_{пр.}}{R}$ в возрасте	
	1 мес.	3 мес.	1 мес.	3 мес.	1 мес.	3 мес.
Обычное без изоляции . . .	109	—	74	82	0,68	—
Влажное без изоляции . . .	126	178	88	140	0,59	0,79
Обычное с изоляцией . . .	132	198	87	132	0,66	0,67

На основании таблицы замечаем, что влажность среды оказывает существенное влияние на начальную прочность и на интенсивность нарастания прочности бетона во времени. Чем меньше влажность среды, тем меньше как начальная прочность бетона, так и дальнейшее ее нарастание.

На фиг. 1 приведены кривые деформаций бетона, а в табл. 2 значения модулей деформаций для различных условий хранения, которые дают ясное представление о влиянии влажности среды на деформативность бетона.

Из фиг. 1 нетрудно заметить, что деформации неизолированных образцов, которые хранились в обычных условиях, во времени возрасли.

На фиг. 2 представлены кривые ползучести бетона при сжатии для трех режимов хранения. Наибольшие деформации соответствуют неизолированным образцам, хранившимся в обычных условиях, а наименьшие — изолированным, хранившимся в тех же условиях.



Фиг. 1. Влияние влажности среды на деформации бетона при сжатии: 1 — образцы неизолированные обычного хранения, 2 — образцы неизолированные влажного хранения, 3 — образцы изолированные обычного хранения.

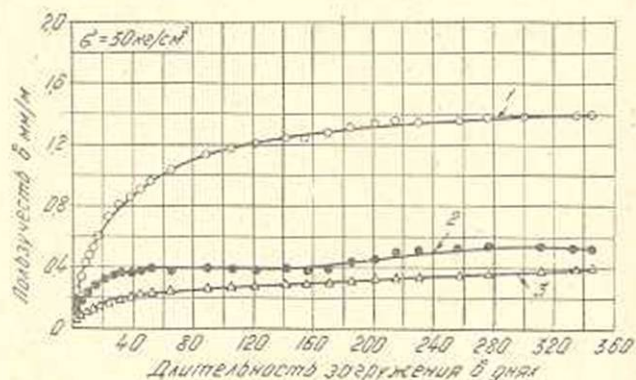
Ползучесть неизолированных образцов влажного хранения несколько больше ползучести изолированных образцов обычного хранения.

Таблица 2

Влияние влажности среды на модуль деформации бетона при сжатии

Условия хранения	Модуль деформации бетона при сжатии по касательной в $T/см^2$ в возрасте						
	1 месяца			3 месяцев			
	$\sigma = 0$	$\sigma = 30$ $кг/см^2$	$\sigma = 60$ $кг/см^2$	$\sigma = 0$	$\sigma = 30$ $кг/см^2$	$\sigma = 60$ $кг/см^2$	$\sigma = 90$ $кг/см^2$
Обычное без изоляции	145	65	17	106	54	14	—
Влажное без изоляции	168	94	42	211	153	104	53
Обычное с изоляцией	192	104	43	246	179	122	63

Таким образом, с увеличением влажности среды ползучесть уменьшается.



Фиг. 2. Влияние влажности среды на ползучесть бетона при сжатии: 1 — образцы неизолрированные обычного хранения, 2 — образцы неизолрированные влажного хранения, 3 — образцы изолированные обычного хранения.

Согласно фиг. 2 при обычном хранении отношение деформаций ползучести неизолрированных и изолированных образцов в конце опытов составляет 3,5.

Эти исследования еще раз показывают какую важную роль играют капиллярные натяжения в порах бетона в ползучести бетона при сжатии [1, 2]. Для ясности более детально рассмотрим наши опытные данные.

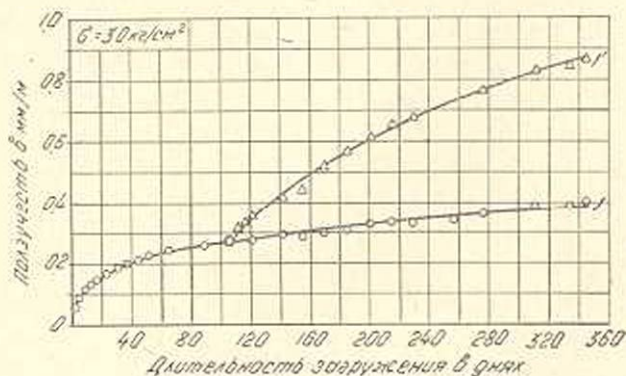
В табл. 1 призмные прочности соответствуют призмам высотой 40 см, а ползучесть определялась на призмах высотой 60 см. Несмотря на это, мы воспользуемся ими для некоторого качественного анализа наших опытов ползучести бетона.

Как уже указывалось, напряжение в длительно нагруженных призмах составляло $30 кг/см^2$. Исходя из данных табл. 1, относительные напряжения в неизолрированных и изолированных образцах, хранившихся в обычных условиях, и в неизолрированных образцах, хранившихся во влажных условиях, в момент длительного нагружения

соответственно составляли 0,41; 0,34 и 0,34, а спустя 2 месяца (при возрасте бетона 3 месяца) — 0,37; 0,21 и 0,23.

Таким образом, в момент нагружения относительное напряжение в неизолированных образцах, хранившихся в обычных условиях, на 21% было больше, чем в изолированных образцах, а спустя 2 месяца — на 62%. Между тем при длительности нагружения 2 месяца ползучесть неизолированных призм в 4 раза больше ползучести изолированных призм (фиг. 2).

Поскольку разница относительных напряжений была незначительной, это не могло привести к столь большой разнице деформаций. Поэтому, несомненно, большие деформации неизолированных образцов обусловлены действием капиллярных натяжений в порах бетона благодаря испарению воды [2]. То, что роль капиллярных явлений в ползучести бетона при сжатии весьма существенна, подтверждают опыты и над теми изолированными образцами, изоляция которых была снята на 107 день после загрузки. Результаты этих опытов приведены на фиг. 3, откуда нетрудно заметить, что дальнейшая ползучесть бетона с момента снятия изоляции составляет 0,61 мм/мм, что в 1,5 раза больше ползучести изолированных образцов за 345 дней. Разница деформаций несомненно была бы еще больше, если бы призмочные прочностные в момент длительного нагружения и снятия изоляции были бы равными.



Фиг. 3. Влияние испарения воды из бетона на ползучесть при сжатии: 1 — образцы, изолированные обычным хранением, 1' — образец, изоляция которого была удалена через 107 дней.

Ползучесть призмы после снятия изоляции составляет 0,61 мм/мм, а изолированной призмы — 0,12 мм/мм. Столь большая разница деформаций ползучести обусловлена действием капиллярных натяжений в порах бетона благодаря испарению воды после снятия изоляции.

С момента снятия изоляции в ненагруженной призмочке наблюдалась интенсивная усадка, что в свою очередь указывает на ту важную роль, которую играют капиллярные явления в усадке бетона.

Эти опытные данные мы не приводим, так как этот вопрос подробно рассмотрен в работе [3].

В таблице 3 приведены прочностные показатели бетона на растяжение.

Таблица 3

Влияние влажности среды на прочность бетона при растяжении

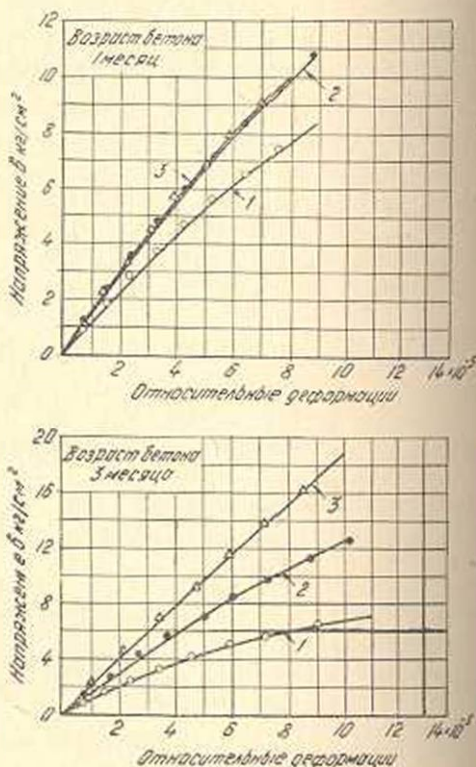
Условия хранения	R в кг/см^2 в возрасте		R_p в кг/см^2 в возрасте		$\frac{R_p}{R}$ в возрасте	
	1 мес.	3 мес.	1 мес.	3 мес.	1 мес.	3 мес.
Обычное без изоляции	109	—	9,3	8,1	0,085	—
Влажное без изоляции	126	178	12,0	14,1	0,095	0,079
Обычное с изоляцией	132	198	11,3	22,0	0,085	0,111

Как видно из табл. 3, с увеличением влажности среды прочность бетона на растяжение увеличивается. Наибольшее нарастание прочности бетона во времени имеет место в изолированных образцах. В случае же неизолированных образцов при обычном хранении, наоборот, наблюдается даже некоторый спад прочностей.

На фиг. 4 приведены кривые деформаций бетона при растяжении для различных условий хранения. Кривые деформаций по отношению друг к другу расположились точно так, как это имело место при сжатии (фиг. 1).

В табл. 4 приведены значения модулей деформаций бетона при растяжении.

На фиг. 5 представлены кривые ползучести при растяжении. И в этом случае наибольшая ползучесть соответствует тем неизолированным образцам, которые хранились в обычных условиях. Что касается ползучести неизолированных образцов, хранившихся во влажных условиях, и ползучести изолированных образцов, то они до длительности нагружения 210 дней практически одинаковы и только в конце опытов деформации в первом случае на 25% больше.



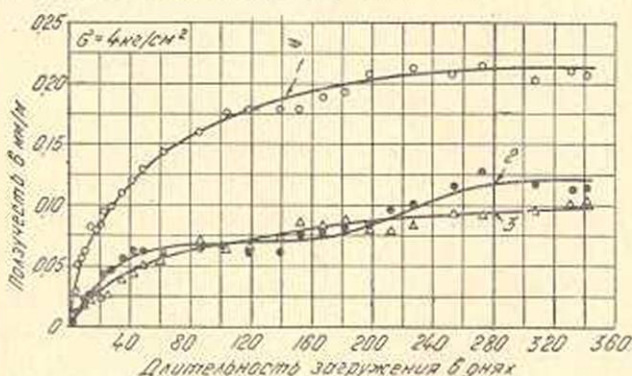
Фиг. 4. Влияние влажности среды на деформации бетона при растяжении: 1 — образцы неизолированные обычного хранения, 2 — образцы неизолированные влажного хранения, 3 — образцы изолированные обычного хранения.

Таблица 4

Влияние влажности среды на модуль деформации бетона при растяжении

Условия хранения	Модуль деформации бетона по касательной в $T/см^2$ в возрасте							
	1 месяц				3 месяцев			
	$\sigma = 0$	$\sigma = 3$ $кг/см^2$	$\sigma = 6$ $кг/см^2$	$\sigma = 9$ $кг/см^2$	$\sigma = 0$	$\sigma = 3$ $кг/см^2$	$\sigma = 6$ $кг/см^2$	$\sigma = 9$ $кг/см^2$
Обычное без изоляции	121	103	86	71	114	78	48	—
Влажное без изоляции	156	138	121	105	170	149	129	111
Обычное с изоляцией	155	138	121	105	202	197	193	188

Рассмотрение фиг. 5 показывает, что и при растяжении влияние влажности среды на ползучесть бетона весьма существенно. Однако, как будет показано, это влияние уже не связано с действием капиллярных сил, а имеет совсем другую причину.



Фиг. 5. Влияние влажности среды на ползучесть бетона при растяжении: 1 — образцы неизолированные обычного хранения, 2 — образцы неизолированные влажного хранения, 3 — образцы изолированные обычного хранения.

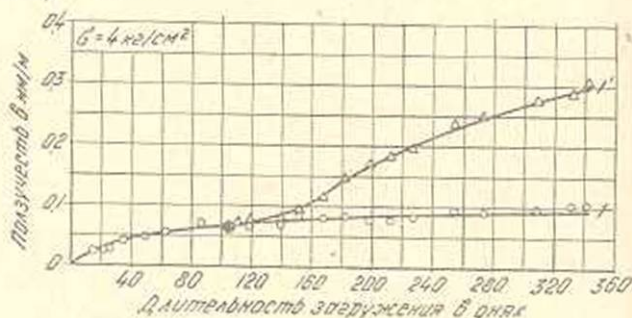
В длительно нагруженных восьмерках напряжение составляло $4 кг/см^2$. Тогда, исходя из данных табл. 3, относительные напряжения в неизолированных и изолированных образцах, хранившихся в обычных условиях, и в неизолированных образцах влажного хранения в момент нагружения соответственно составляли 0,43; 0,35 и 0,33, а спустя 2 месяца 0,49; 0,18 и 0,28. Эти цифры показывают, что в момент нагружения относительное напряжение в неизолированных образцах обычного хранения в 1,23 раза, а при длительности нагружения 2 месяца в 2,7 раза было больше, чем в изолированных образцах. Отношение же деформаций ползучести этих образцов при длительности нагружения 2 месяца составляет 2,54.

Таким образом, деформации ползучести развивались почти пропорционально относительным напряжениям. Последнее говорит о том,

что при разной влажности среды одной из основных причин, приводящей к разным деформациям ползучести бетона при растяжении, является неодинаковое изменение прочности бетона во времени и в связи с этим неодинаковые относительные напряжения.

На основании этих опытов еще раз можно утверждать, что линейная ползучесть бетона при сжатии в основном является следствием как вязкости гелевой структурной составляющей цементного камня, так и капиллярных явлений.

При растяжении ползучесть бетона в основном является следствием вязкости цементного геля.



Фиг. 6. Влияние испарения воды из бетона на ползучесть при растяжении: I — образцы изолированные хранения, I' — образцы, изоляция которых была удалена через 105 дней.

На фиг. 6 приведена кривая ползучести изолированных восьмерок и кривая ползучести той изолированной восьмерки, изоляция которой была снята спустя 105 дней после нагружения. Как видно, и при растяжении после снятия изоляции ползучесть значительна. Однако, в этом случае деформации начинают интенсивно развиваться не сразу, а только спустя 45 дней после снятия изоляции.

Незначительная деформация сразу после снятия изоляции еще раз указывает на то, что капиллярные явления не играют роли в ползучести бетона при растяжении. Это так, потому что в противном случае ползучесть развивалась бы интенсивно сразу же после снятия изоляции. Интенсивное развитие деформаций ползучести спустя 45 дней после снятия изоляции несомненно имеет другую причину и очевидно связано с изменением прочности и модуля деформации бетона в связи с потерей воды. В наших многолетних исследованиях часто наблюдалось такое явление, когда прочность и модуль деформации бетона после некоторого нарастания во времени в дальнейшем падают. Это имеет место в тех случаях, когда бетон твердеет в среде с низкой влажностью. Нарастание прочности и модуля деформации бетона во времени тем меньше, а дальнейший их спад тем больше, чем меньше влажность среды. Причем спад прочности и модуля деформации бетона более существенен при растяжении, чем при сжатии.

Как видно из табл. 3, прочность бетона на растяжение, при обычном хранении, в трехмесячном возрасте уже получилась меньше, чем в месячном возрасте. С падением прочности падает и модуль деформации бетона (табл. 4).

На основании фиг. 6 ползучесть изолированного образца после снятия изоляции в 6,5 раза больше, чем ползучесть изолированных образцов за тот же период времени. Такая большая разница деформаций является следствием падения прочности и модуля деформации бетона благодаря испарению воды с момента снятия изоляции. Падение прочности бетона приводит к увеличению относительного напряжения и тем самым к увеличению деформаций ползучести. Падение же модуля деформаций приводит к увеличению упругих деформаций бетона под действием неизменной длительной нагрузки.

Следовательно, деформации изолированного образца после снятия изоляции частично включают в себе и упругие деформации, которые претерпевает бетон во времени по мере падения модуля деформации.

Все то, к чему приводит падение прочности и модуля деформации бетона при длительном растяжении, имеет место и при сжатии. Однако, как уже указывалось, падение прочности и модуля деформации бетона на сжатие относительно меньше, а поэтому после снятия изоляции развивающиеся деформации ползучести в основном обусловлены капиллярными явлениями вследствие испарения воды.

На основании проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы.

1. Влажность среды оказывает существенное влияние на прочность и модуль деформации бетона при сжатии и растяжении. С уменьшением влажности прочность и модуль деформации бетона уменьшаются.

2. Влажность среды оказывает существенное влияние на ползучесть бетона при сжатии и растяжении. С уменьшением влажности ползучесть возрастает.

3. Характер влияния влажности среды на ползучесть бетона при сжатии и растяжении в корне отличается.

При сжатии под действием внешней нагрузки диаметр капилляров бетона уменьшается, а капиллярное натяжение увеличивается. Увеличение капиллярного натяжения приводит к интенсификации деформаций ползучести, причем тем больше, чем меньше влажность среды.

При растяжении имеет место обратное явление, то есть увеличение диаметра капилляров и как следствие этого уменьшение капиллярного натяжения. Поэтому в этом случае роль капиллярных явлений в ползучести бетона стирается, и ползучесть в основном протекает за счет вязкости цементного геля.

Влияние влажности среды на ползучесть бетона при растяжении в основном обусловлено тем, что нарастание прочности бетона во времени в условиях разной влажности различна. Это обстоятельство обуславливает разные относительные напряжения в длительно нагру-

женном бетоне и тем самым разные деформации ползучести. Причем чем меньше влажность среды, тем меньше нарастание прочности бетона во времени, больше относительное напряжение и больше ползучесть. Сказанное имеет место и при сжатии, однако при этом влияние влажности среды на прочность бетона относительно меньше, а поэтому и меньше ползучесть, обусловленная изменением относительного напряжения.

4. Линейная ползучесть бетона при сжатии в основном является следствием вязкости гелевой структурной составляющей цементного камня и капиллярных явлений, а нелинейная ползучесть еще и следствием появления и развития микротрещин в бетоне. Чем меньше влажность среды, тем большую долю общих деформаций ползучести составляет та часть ползучести, которая обусловлена капиллярными явлениями.

5. Ползучесть бетона при растяжении в основном обусловлена вязкостью гелевой структурной составляющей цементного камня.

Институт математики и механики
АН Армянской ССР

Поступила 15.1.1965

4. Ս. ԿԱՐԱՊԵՏՅԱՆ

ՄԻՋԱՎԱՅՐԻ ԽՈՆԱՎՈՐԹՅԱՆ ԱԶԳԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԲԵՏՈՆԵ ՍՈՂՔԻ ՎՐԱ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ սեղմման և ձգման դեպքում միջավայրի խոնավությունը էապես ազդում է բետոնի ամրության, դեֆորմացիաների մոդուլի և սողքի վրա: Խոնավության փոքրացման հետ փոքրանում են բետոնի ամրությունն ու դեֆորմացիաների մոդուլը և մեծանում է սողքը:

Սեղմման դեպքում, արտաքին բնոի ազդեցության տակ մազանոթների արամագիծը փոքրանում է, հետևաբար մազանոթային ուժերը մեծանում են, որը բերում է սողքի դեֆորմացիաների մեծացման, ընդ որում որքան փոքր է միջավայրի խոնավությունը, այնքան ինտենսիվ է սողքի դեֆորմացիաների աճը:

Ձգման դեպքում տեղի է ունենում հսկայական երևույթ, մազանոթների արամագծի մեծացում և, հետևաբար, մազանոթային ուժերի փոքրացում: Այդ պատճառով մազանոթային երևույթների ազդեցությունը փոքր է, և սողքը տեղի է ունենում հիմնականում ցածր մասնաշրջանի քարի մածուցիկության հաշվին:

Միջավայրի խոնավության ազդեցությունը բետոնի սողքի վրա ձգման դեպքում հիմնականում պայմանավորված է նրանով, որ ապրիբը խոնավության պայմաններում բետոնի ամրության աճը ժամանակի ընթացքում տարբեր է: Ընդ որում որքան փոքր է միջավայրի խոնավությունը, այնքան փոքր է բետոնի ամրության աճը և մեծ է սողքը: Այս երևույթը տեղի ունի

Նաև սերման գեպում, սակայն այդ աղիցությունը փոքր է, քանի որ սերման գեպում, երբ միջավայրի խոնավությունը փոքր է, սողքը հիմնականում պայմանավորված է մաղանոթային երևույթներով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Карапетян К. С. Ползучесть бетона при высоких напряжениях. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат., ест. и техн. наук, 5, № 4, 1953.
2. Карапетян К. С. Влияние размеров образца на усадку и ползучесть бетона. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат., ест. и техн. наук, 9, № 1, 1956.
3. Карапетян К. С., Котикян Р. А. Влияние масштабного фактора на усадку бетона в зависимости от влажности среды. Известия АН АрмССР, серия физ.-мат. наук, 17, № 2, 1964.