

УДК 666.97.536.416

**ВЛИЯНИЕ МАСШТАБНОГО ФАКТОРА НА СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ
ВЛАЖНОСТНОЙ УСАДКЕ СТАРОГО БЕТОНА**

Карапետյան К.А., Клекчян Д.Г., Манукян Е.С.

Ключевые слова: сопротивление, деформация, усадка, набухание, влажность
Key words: resistance, deformation, contraction, bulking, moisture.

Կարապետյան Կ.Ա., Կլեկչյան Դ.Գ., Մանուկյան Ե.Ս.

**Մասշտաբային գործոնի ազդեցությունը ծեր բետոնի խոնավային կծկմանը դիմադրելու
հասկացողության վրա**

Քննարկվում են 28 տարի հիդրոմեկուսացված վիճակում պահված և չափումներն սկսելու պահին ապամեկուսացված տարբեր տրամագծերով լիթոիդպեմզաբետոնե գլանային տարրերի կծկման դեֆորմացիաների հետազոտման արդյունքները: Կատարված է փորձական տվյալների համեմատական վերլուծություն: Բացատրված են փորձականորեն բացահայտված երևույթները:

Karapetyan K.A., Klekchyan D.H., Manukyan E.S.

Influence of the scale factor on the resistance of aged concrete moist contraction

Results of an experimental investigation of the desorption of moisture on the shrinkable deformations of litoid-pumice concrete cylinders of different diameters stored after the remoulding during 28 years in the hydro-isolated condition and released from the isolation at the moment of time of the test are considered. The comparative research of test results is done. The explanation of detected phenomena is given.

Рассматриваются результаты экспериментального исследования десорбции влаги на усадочные деформации литоидпемзобетонных цилиндров разных диаметров, хранившихся после расформовки в течение 28 лет в гидроизолированном состоянии и освобожденных от изоляции к моменту проведения наблюдений. Сделан сравнительный анализ опытных результатов. Дано объяснение обнаруженных явлений.

Известно, что в условиях свободного влагообмена с окружающей средой с невысокой влажностью ($w < 75\%$, [1]) на величину деформаций усадки бетона одного и того же состава существенное влияние оказывает масштабный фактор [2; 3; 4]. Это явление, обнаруженное у бетонов, имевших возраст к началу проведения измерений 28 сут [2] и меньше [3; 4], объясняется, в основном, влажностными процессами [2].

Представляется целесообразным изучение указанного вопроса с использованием весьма старых бетонов, сохранивших в своих порах и капиллярах химически несвязанную (свободную) влагу. При этом, предполагается, что влияние других факторов (контракционные явления, увеличение прочности и модуля упругости в период проведения измерений и др.) на усадочные деформации бетона в этом случае сводится к минимуму.

В работе обсуждаются результаты исследований динамики развития во времени влажностной усадки бетонных элементов с разными размерами поперечного сечения.

В качестве опытных образцов были использованы цилиндры с диаметрами 5,55см, 9,5см и 13,5см и высотой соответственно 22см, 38см и 54см, полученные из исходных литоидпемзобетонных цилиндров с диаметром 14см и высотой 60см. Последние после расформовки сразу были гидроизолированы и в течение 28 лет в таком состоянии хранились в лабораторном помещении. Был применен вибрированный бетон состава в массе 1 : 1,539 : 2,400, В/Ц=0,95, Ц=295кг/м³, для приготовления которого использовались песок ($\gamma_{п} = 1090$ кг/м³), щебень ($\gamma_{щ} = 820$ кг/м³) с фракцией 10-40мм из литоидной пемзы, взятые из карьера Джрабер

(Республика Армения) и портландцемент активностью 40МПа. Кубиковая прочность бетона в месячном возрасте составляла 20,4МПа.

За изменениями усадочных деформаций опытных образцов в условиях их свободного влагообмена с окружающей средой следили в течение 220 сут. Параллельно периодически измерялась влажность лабораторного помещения.

Полученные результаты в виде кривых приведены на фиг.1. Кривые деформации усадки на этой фигуре в рассматриваемом каждом случае были построены на основе данных (они показаны точками), представляющих среднюю арифметическую величину результатов, полученных на трех образцах-близнецах. При этом, максимальное отклонение показателей опытных данных по отношению с их средним арифметическим значением наблюдалось у образцов с диаметром 5,55см и составило +4,9 и -5,1%.

Прежде чем перейти к обсуждению полученных результатов, отметим, что мера влажности w , использованного в исследованиях литоидпемзобетона в возрасте 28 сут., составила 13,3%. Согласно расчетам, проведенными на основе метода, изложенной в [5], в случае надежной гидроизоляции влажность бетона в возрасте 28 лет должна была составить приблизительно 11,4%. Однако, как показывают измерения, в указанном возрасте фактическая влажность литоидпемзобетонных исходных элементов, а следовательно и опытных образцов, составила всего лишь 6,5%. Это свидетельствует о потере исходными элементами в течение 28 лет около 43% содержащейся в их порах и капиллярах химически несвязанной влаги из-за ненадежной гидроизоляции.

По приведённым на фиг.1 данным с началом процесса десорбции влаги у цилиндрических образцов с выбранными диаметрами наблюдаются развивающиеся с переменной во времени скоростью значительные усадочные деформации. При этом, как скорость изменения во времени этих деформаций, так и предельная их величина существенным образом зависят от масштабного фактора: чем меньше размеры опытных образцов, тем больше показатели указанных характеристик.

На основе поведения кривых фиг.1 можно заключить, что увеличение во времени усадочных деформаций опытных образцов или резкие их колебания существенным образом зависят от изменения в этом промежутке времени влажности лабораторного помещения. Это особенно явно выражается после 40 дней наблюдения за дальнейшими изменениями во времени усадочных деформаций, когда начальная высокая скорость процесса десорбции химически несвязанной влаги из пор и капилляров бетона становится значительно умеренной.

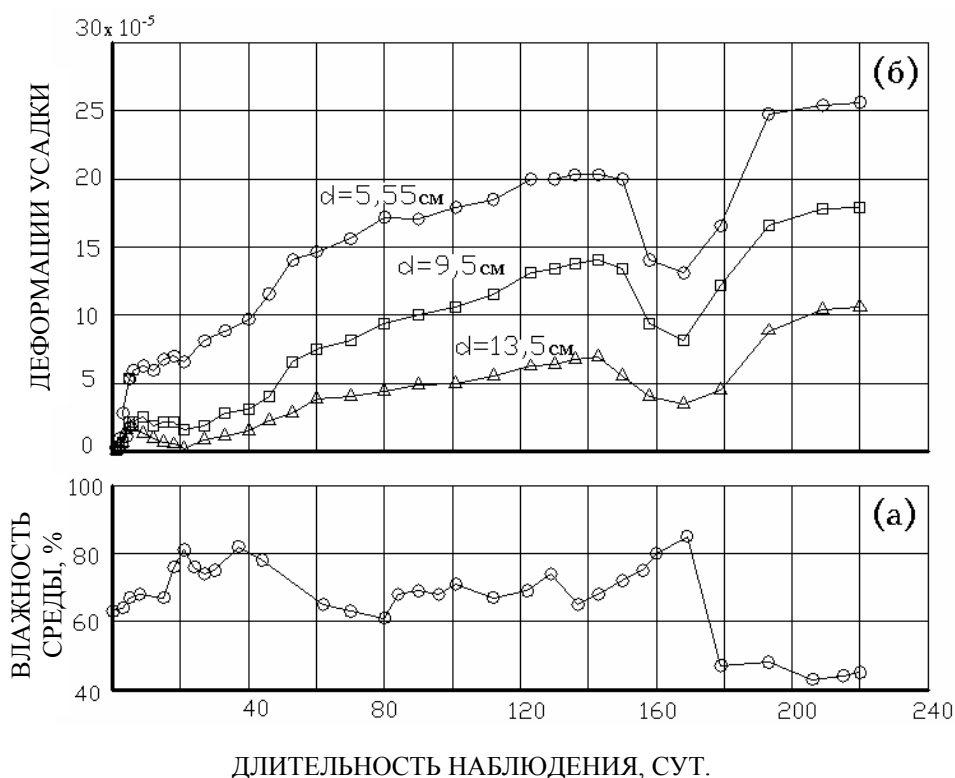
По данным фиг.1 максимально возможную величину усадочных деформаций, обусловленных, главным образом, процессом десорбции исходно содержащейся влаги, образцы приобретают в течение 143 дней с начала проведения измерений. Наблюдаемое дальнейшее изменение усадочных деформаций во времени независимо от величины диаметров опытных образцов обусловлено, в основном, колебанием влажности лабораторного помещения.

Сравнение приведённых на фиг.1 данных показывает также, что кривые усадочных деформаций цилиндрических образцов рассматриваемых здесь диаметров можно считать практически подобными. А после 40 сут. наблюдения из графиков этой же фигуры можно заметить определенную симметрию в поведении кривых усадки и влажности лабораторного помещения, которая заключается в том, что на участках возрастания или убывания влажности усадка соответственно убывает или возрастает.

Относительно экспериментально установленного последнего явления можно отметить, что оно может проявиться еще с начала проведения наблюдений и выглядеть более выразительной, если опытные образцы (или исходные бетонные элементы) до начала проведения экспериментов находились бы долгое время в среде с невысокой влажностью, где и в дальнейшем проводились бы измерения. Это

означает, что к моменту начала экспериментов имеет место установленное некоторое влажностное равновесие между объектами исследований и окружающей средой.

Сказанное подтверждается представленными на фиг.2 графиками изменения во времени влажности лабораторного помещения и объемных деформаций (усадка, набухание) литоидпемзобетонных цилиндрических образцов с диаметром 5,55см и высотой 22см. Эти образцы были получены способом выбуривания из исходных цилиндров с диаметром 14см и высотой 60см, изготовленных из указанного выше состава литоидпемзобетона. Разница заключается лишь в том, что на этот раз, в отличие от предыдущего случая, исходные цилиндры после расформовки не были гидроизолированы и они в таком состоянии в течение 28 лет хранились в лабораторном помещении, где в дальнейшем проводились измерения.



Фиг.1. Кривые изменения влажности лабораторного помещения (а) и деформаций усадки литоидпемзобетонных цилиндрических образцов разных диаметров (б)

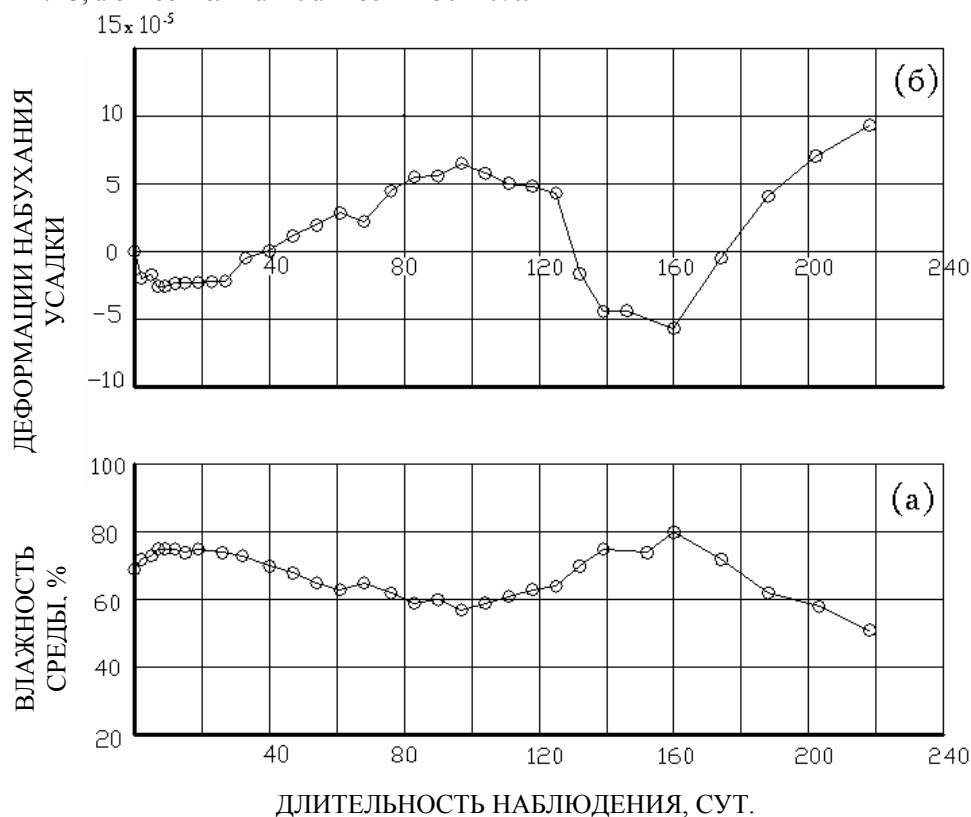
Согласно приведённым на фиг.2 кривым, в изменениях во времени объёмных деформаций литоидпемзобетонных цилиндров с диаметром 5,55см величина влажности окружающей среды, равной примерно 70%, оказывается в некотором смысле переломной: при уровне влажности среды, превышающей 70%, у образцов возникают деформации набухания, а при влажности ниже уровня – деформации усадки.

Вышесказанное позволяет заключить, что в среде с невысокой влажностью бетонные, а также железобетонные конструкционные элементы с относительно малым поперечным сечением реагируют на колебания влажности лишь циклическим удлинением-сокращением, в то время, как в элементах с большим поперечным сечением происходит циклическое изменение внутреннего напряженного состояния. Последнее приводит к образованию трещин в поверхностном слое [6]. С этой точки

зрения можно считать, что в регионах с невысокой влажностью целесообразнее несущие колонны конструкции уменьшить в размерах, соответственно увеличив их число, либо гидроизолировать их.

В работе К.С. Карапетяна [2] представлены данные исследований влияния масштабного фактора на деформацию усадки бетона при его свободном влагообмене с окружающей средой с невысокой влажностью. В этих исследованиях в качестве опытных образцов были использованы цилиндры с диаметрами 14см и 25см и высотой 60см, изготовленные из того же состава литоидпемзобетона, с использованием которого нами и были проведены вышеописанные эксперименты в возрасте материала 28 лет.

В экспериментах К.С. Карапетяна [2] до начала проведения исследований опытные образцы после освобождения от металлических форм в течение 28 сут. хранились во влажных опилках. В период наблюдения за развитием во времени усадочных деформаций образцов температура лабораторного помещения составляла $21 \pm 7^\circ\text{C}$, а относительная влажность – $50 \pm 10\%$.



Фиг.2. Кривые изменения влажности лабораторного помещения (а) и деформаций усадки (набухания) литоидпемзобетонных цилиндрических образцов с диаметром 5,55 см (б)

Приведённые в [2] данные в виде кривых показывают, что конечная величина усадочных деформаций у образцов с поперечным сечением меньших размеров оказалась существенно больше, чем у образцов с большим поперечным сечением. При этом в малых образцах усадочные деформации с начала наблюдения развиваются более интенсивно, чем в больших образцах, в результате чего деформации усадки у первых раньше достигают своего предельного значения.

Качественно аналогичное явление в дальнейшем было обнаружено С.В. Александровским [3] при проведении идентичных исследований на призматических образцах с размерами поперечного сечения 5x5см, 7x7см и 10x10см, изготовленных из тяжелого бетона с В/Ц=0,678-0,638. Для приготовления бетона был применен портландцемент активностью 40МПа. К началу проведения измерений усадочных деформаций опытные образцы имели возраст 4 сут.

На основе сравнения поведения экспериментальных кривых, представленных на фиг.1 настоящей работы с данными из [2] и [3], можно прийти к выводу, что чувствительность кинетики развития усадочных деформаций во времени к колебаниям влажности окружающей среды у весьма старых бетонов, сохранивших в своих порах свободную влагу, более существенна, чем у незрелых бетонов, независимо от размеров исследуемых образцов.

В вышеупомянутой работе [2], исходя из анализа полученных экспериментальных результатов, выражается мнение, что в проявлении существенных усадочных деформаций у бетонных элементов при нахождении их в среде с невысокой влажностью, основную роль играют капиллярные процессы. Влияние же масштабного фактора на усадку в этом случае объясняется тем, что с уменьшением размеров опытных образцов возрастает модуль их открытой поверхности (отношение величин площади боковой поверхности образца S и его объема V), что приводит к интенсификации процесса влагоотделения. При этом тем же автором не исключается влияние других факторов на обнаруженные им явления.

Следует отметить, что того же мнения придерживается и автор работы [3].

Приведённые на фиг.1 экспериментальные данные наглядно доказывают справедливость вышеотмеченного явления влияния масштабного фактора на кинетику развития влажностной усадки и в случае весьма старого литоидпемзобетона, хранившего в своих порах и капиллярах химически несвязанной влаги. А на основе сравнения приведенных на фиг.1 кривых и результатов соответствующих измерений можно прийти к выводу, что причиной разных значений усадочных деформаций опытных цилиндрических образцов рассматриваемых диаметров является, главным образом, различие в количественном отношении потеря химически несвязанной влаги из их пор и капилляров. Согласно этим измерениям величина объемной массы опытных цилиндрических образцов с диаметрами 5,55см; 9,5см и 13,5см к моменту начала проведения экспериментов составляла соответственно 1558кг/м³; 1554кг/м³ и 1552кг/м³. Значение же потери влаги этими образцами после нахождения их в лабораторном помещении в течение 220сут. составляла соответственно 1,23%; 0,85% и 0,72%. Интересно отметить, что значение отношения усадочных деформаций, приобретенных образцами к концу экспериментов (через 220 сут. после начала опытов), и модуля открытой поверхности s/v , рассчитанного для цилиндрических образцов одного и того же диаметра, практически не зависит от величины диаметра образца и составляет примерно $38 \times 10^{-5} \cdot \text{см}$.

Рассчитанная же на основе представленных в работе [2] данных величина указанного показателя через 220 дней наблюдения для цилиндрических образцов с диаметром 14см составляет примерно $217 \times 10^{-5} \cdot \text{см}$, а для образцов с диаметром 25см – $281 \times 10^{-5} \cdot \text{см}$.

Сравнение экспериментальных результатов, приведенных в работе [2] и на фиг.1, также дает возможность составить представление о влиянии возраста бетона на его сопротивляемость усадке.

Согласно данным работы [2] величина деформаций усадки опытных литоидпемзобетонных образцов с диаметром 14см, зафиксированная через 220 сут. после начала наблюдений, составляла примерно 62×10^{-5} .

Напомним, что в этом случае возраст бетона к началу проведения исследований составлял 28 сут.

По представленным же на фиг.1 результатам значение деформаций усадки литоидпемзобетонных цилиндрических образцов с диаметром 13,5см, хранившихся после расформовки в гидроизолированном состоянии и освобожденных от изоляции к моменту проведения экспериментов в возрасте 28 лет, составляет около 11×10^{-5} .

Учитывая, что цилиндрические образцы до момента начала проведения измерений в одном случае хранились во влажных опилках, а в другом – в гидроизолированном состоянии, разница в величинах их площадей, составляющая менее 7%, не может служить препятствием для сравнительного анализа данных настоящей работы с данными работы [2].

Исходя из этого, существенную разницу усадки цилиндрических образцов с упомянутыми диаметрами, зафиксированную в работе [2] и представленную на фиг.1, можно объяснить, в основном, возрастом бетона к началу процесса высыхания, поскольку чем позже начинается обезвоживание бетона, тем больше его сопротивляемость усадке [4; 7], которая, главным образом, характеризуется модулем упругости, прочностью и сильно зависит от степени влажности бетона к началу проведения экспериментов. Отметим, что влажность, прочность и модуль упругости литоидпемзобетонных цилиндров в возрасте 28 сут. составили соответственно 13,3%; 15,5 МПа и 9500МПа [2], а в возрасте 28 лет – 6,5%; 24,6МПа и 16000МПа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительные нормы и правила. СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции. М.: Стройиздат, 2002. 77с.
2. Карапетян К.С. Влияние размеров образца на усадку и ползучесть бетона // Изв. АН Арм. ССР. Серия физ.-мат., естеств. и техн. наук. 1956. Т9. № 1. С. 87-100.
3. Александровский С.В. О влиянии масштабного фактора на влажностные деформации бетона. /В кн.: Расчет железобетонных конструкций. Экспериментально-теоретические исследования по усовершенствованию расчета. Труды НИИЖБ. Вып. 23. М.: Госстройиздат, 1961. С. 207-228.
4. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменения температуры и влажности с учетом ползучести. М.: Стройиздат, 1973. 432с.
5. Симонов М.З. Основы технологии легких бетонов. М.: Изд. лит. по строительству, 1973. 584с.
6. Карапетян К.С., Карапетян К.А. Прочность и деформации различных зон сечения бетонного цилиндра при сжатии. // Изв. АН Арм. ССР. Механика. 1982. Т.35. №4. С. 56-67.
7. Troxell G.E., Raphael J.M., Davis R.E. Long – time creep and shrinkage tests of plain and reinforced concrete // Proc. Amer. Soc. Test. Mater. 1958 (1959). 58. P.1101-1120.

Сведения об авторах:

Карапетян Корюн Ашотович, д.т.н., зав. лабораторией
Института механики НАН Армении.

Адрес: 0019 Ереван, пр. Маршала Баграмяна 24^б,
Тел: (+37410) 52-48-52, E-mail: koryan@mechins.sci.am

Клекчян Давид Грачикович, к.т.н., председатель промышленного кооператива
«Бетон».

Тел.: (091) 200894, E-mail: klekchyan@mail.ru

Манукян Егише Самвелович, инженер, Институт механики НАН Армении.

Тел.: (099) 500755.

Поступила в редакцию 03.04.2012