

СТЕСНЕННАЯ ДЕФОРМАЦИЯ УСАДКИ АРМИРОВАННОГО КЕРАМЗИТОБЕТОНА И ЕЁ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

СЕМЕНЮК С. Д., МЕЛЬЯНЦОВА И. И., ТИМОФЕЕВА А. Б.

Белорусско-Российский университет
Могилев, Беларусь

Легкие бетоны получают на основании искусственных и природных пористых заполнений. Прочность крупных заполнителей легких бетонов значительно меньше прочности заполнителей обычного (тяжелого) бетона и при испытании их в стандартном цилиндре колеблется в значительных пределах от 0,5 до 10,0 МПа. Разрушение легких бетонов происходит в основном по крупному заполнителю в то время, когда в обычном бетоне, как правило, разрушение происходит по контакту заполнителя с раствором.

Под усадкой принято понимать объемное сокращение бетона (раствора, цементного камня) в результате физико-химических процессов, происходящих при взаимодействии цемента с водой, изменения влажности цементного камня и карбонизации бетона. Усадку бетона следует рассматривать как свойство микроструктуры твердеющего цементного камня. Величина деформации усадки во времени зависит от множества факторов:

- температурно-влажностных условий окружающей среды;
- крупности заполнителя и его физико-механических свойств;
- количества, вида цемента и его активности;
- количества воды затворения (водоцементное отношение);
- объемного содержания цементного камня в бетоне;
- межзерновой пустотности заполнителей бетона;
- присутствие добавок и ускорителей твердения, оказывающих влияния на условия формирования структуры бетона.

Усадка происходит, когда влажность окружающей среды меньше влажности бетона.

Усадку принято подразделять на две составляющие: химическую усадку (связана с потерей воды при протекании процесса гидрата-

ции вяжущего); физическую усадку (характеризуется потерей части свободной влаги бетона при её испарении из открытых пор и капилляров в атмосферу).

В общем виде различают усадку контракционную, карбонизационную и влажностную.

Контракционная усадка носит физико-химический характер и происходит в период возникновения новообразований, объем которых меньше, чем исходных продуктов. Усадка эта незначительная по сравнению с полной усадкой; протекает в раннем возрасте бетона и не вызывает существенных внутренних напряжений.

Карбонизационная усадка является следствием уменьшения в объеме цементного камня в результате химического взаимодействия гидроокиси кальция с оксидом углерода, содержащемся в воздухе.

При нахождении бетона в среде, влажность которой ниже содержания влаги в бетоне, происходит испарение воды из мелких пор и капилляров, а также структурно связанной воды. Это приводит к возникновению сил капиллярного сжатия и к уменьшению объема, называемому влажностной усадкой, которая составляет 70...80% полной усадки.

По сравнению с тяжелыми бетонами протекание усадки в легких бетонах имеет ряд особенностей.

- 1 – керамзитобетон ($R_b = 28,3$ МПа)
- 2 – бетон на трепельном гравии ($R_b = 28,0$ МПа);
- 3 – тяжелый бетон ($R_b = 23,3$ МПа).

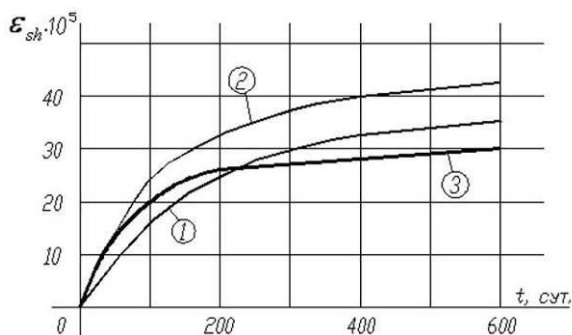


Рис. 1. Относительные деформации усадки легких бетонов

Изменение объема в легких бетонах проявляется более интенсивно под влиянием факторов увлажнения или высыхания. Поэтому полная усадка легких бетонов, чаще всего несколько больше (на 15...25%) усадки равнопрочных тяжелых бетонов (рис.1). В первые периоды твердения легких бетонов наблюдается увеличение объемов, вызванное тепловым расширением заземленного воздуха под влиянием экзотермической теплоты (с выделением). Вследствие этого, в первые несколько суток бетон набухает, а затем уменьшается в объеме, т.е. начинают проявляться усадочные деформации.

На основе статистического анализа опытных данных найдены формулы позволяющие, вычислить относительные деформации усадки ε_{sh} в зависимости от наиболее влияющих факторов – расхода воды и цемента.

Так, для керамзитобетона на кварцевом песке при естественном твердении при продолжительности процесса 100 суток используют формулу:

$$\varepsilon_{sh}(100) = 6,7 \cdot 10^{-6} \cdot (V \cdot \sqrt{\Pi})^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

где V и Π – расход воды (литрах) и цемента (кг) на 1 м^3 бетона.

Для описания процесса усадки во времени можно использовать формулу:

$$\varepsilon_{sh}(t) = 4 \frac{t \cdot \varepsilon_{sh}(100)}{100 + 3t}, \quad (2)$$

где t – продолжительность процесса, сут.

Конечные деформации усадки легких бетонов колеблются в значительных пределах. Например, для керамзитобетона они составляют 0,3...1 мм/м; аглопоритобетона – 0,5...0,9; для бетона на топливном шлаке – 0,3...2,3 мм/м. Усадка, как и ползучесть, армированных легких бетонов изучены мало.

В армированном элементе свободные усадка и ползучесть сдерживаются арматурой, которая играет роль внутренней связи, т.к. ее модуль упругости выше модуля упругости бетона. Вследствие этого деформации усадки и ползучести армированного бетона ниже, чем

неармированного, причем, чем выше коэффициент армирования μ , тем больше его влияние.

Под влиянием разности деформаций свободной усадки бетонного элемента ε_{sl} и стесненной усадки армированного элемента $\varepsilon_{sl,s}$ (рис. 2), образуется средняя деформация бетона:

$$\varepsilon_{bt} = \varepsilon_{sl} - \varepsilon_{sl,s}, \quad (3)$$

порождающая в бетоне средние растягивающие напряжения.

$$\sigma_{bt} = \varepsilon_{bt} \cdot E'_b, \quad (4)$$

где E'_b – секущий модуль деформации, зависящий от возраста бетона.

Наибольшие значения этих напряжений находятся в зоне контакта с арматурой. Деформации $\varepsilon_{sl,s}$ являются для арматуры упругими, и в ней возникают сжимающие напряжения.

$$\sigma_s = \varepsilon_{sl,s} \cdot E_s. \quad (5)$$

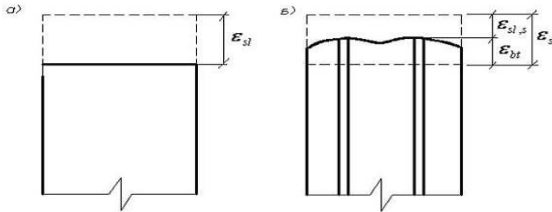


Рис. 2. Деформации усадки образцов
а) бетонного; б) железобетонного

Теоретически влияние армирования на процессе усадки получим, используя условие внутреннего равновесия, в любой момент времени t

$$\sigma_{bt(t)} \cdot A_b = \sigma_{s(t)} \cdot A_s \quad (6)$$

и условие совместности деформаций

$$\varepsilon_{sl,s}(t) = \varepsilon_{sl}(t) - \varepsilon_{bt}(t), \quad (7)$$

где $\sigma_{bt}(t)$ – растягивающие напряжения в бетоне к моменту времени t ;
 $\sigma_s(t)$ – сжимающие напряжения в арматуре к моменту времени t ;

A_B – площадь поперечного сечения бетона ($\mu = A_s/A_b$);

$\varepsilon_{sl}(t)$ – деформации свободной усадки бетона к моменту времени t ;

$\varepsilon_{sl,s}(t)$ – деформации сжатия в арматуре к моменту времени t ;

$\varepsilon_{bt}(t)$ – деформации растяжения в бетоне к моменту времени t ;

Учитывая, что из (6) $\sigma_{bt}(t) = \mu \sigma_s(t)$ и

$$\varepsilon_{at}(t) = \int_{\tau_1}^t \frac{d\tau(\tau)}{d\tau} \cdot \delta(t, \tau), \quad (8)$$

после интегрирования и решения уравнения (8), получаем выражение для определения деформаций усадки армированного бетона $\bar{\varepsilon}_{sl}(t) = \varepsilon_{sl,s}(t)$

$$\bar{\varepsilon}_{sl}(t) = \varepsilon_{sl,s}(t) - \left[f_1(t) + \int_{\tau_1}^t f_1(t) H(t, \tau) d\tau \right], \quad (9)$$

где $f_1(t) = \frac{\varepsilon_{sl}(t) \cdot \mu \cdot \alpha(t)}{[1 + \mu \alpha(t)]}$; $\alpha(t) = \frac{E_s}{E_b(t)}$;

$H(t, \tau)$ – резольвента ядра.

$$H(t, \tau) = \frac{\mu \alpha(t)}{1 + \mu \alpha(t)} \cdot \frac{d}{d\tau} \left[\frac{1}{E_g(t)} + C(t, \tau) \right]; \quad (10)$$

$C(t)$ – удельная деформация ползучести бетона. Для приближенного описания изменения $C(t, \tau)$ можно использовать эмпирическую формулу, полученную на основе статистической обработке результатов опытов с керамзитобетоном

$$C(t, \tau) = C(\infty, \tau) / \left(1 + \frac{12,5}{\sqrt{t - \tau}} \right), \quad (11)$$

где $C(\infty, \tau) = \xi_1 \cdot \xi_3 \cdot \xi_4 \cdot k \cdot \frac{B}{R_m}$;

ξ_1, ξ_3, ξ_4 – коэффициенты, учитывающие соответственно возраст бетона к моменту нагружения, приведенный размер попереч-

ного сечения и относительную влажность среды (принимают по нормам);

$$k = 13,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг};$$

V – расход воды, кг/м³,

R_m – кубиковая прочность бетона.

Формула (9) даст хорошую сходимость с опытными данными, но она сложна для практического пользования. Поэтому при расчетах применяют эмпирические зависимости, основанные на экспериментальных данных. Так для керамзитобетона используют формулу:

$$\bar{\varepsilon}_{sl}(t) = 4t\varepsilon_{sl}(100) \frac{e^{-20\mu}}{100 + 3t}, \quad (12)$$

где $\varepsilon_{sl}(100)$ – свободная усадка бетона к моменту наблюдений (100 суток) вычисляется по формуле (1). Для других бетонов используют зависимость

$$\frac{\bar{\varepsilon}_{sl}(t)}{\varepsilon_{sl}(t)} = \frac{1}{2,2\mu, 2\mu\alpha + 1} \quad (13)$$

Усадка является одним из явлений, которые, как считается, вызывают изменение объема бетона, другие три - это ползучесть, эффекты изменения температуры и возможный химический распад. Хотя все четыре взаимосвязаны, изменение объема из-за потери влаги связано с термином усадка. Ползучесть - это зависящее от времени изменение объема в результате действия внешних нагрузок. Повышение или понижение температуры приведет к расширению или сжатию бетона, но также повлияет на скорость усадки, увеличив или уменьшив скорость испарения влаги с поверхности бетона.

Для реализации определения стесненной усадки армированного керамзитобетона используются призмы размерами 150×150×600 мм и индикаторы часового типа с ценой деления 0,001 мм на базе 400 мм (см. рис.3).

Этапы подготовки керамзитобетонного образца к испытаниям изложены ниже (см. рис. 3 – 5).

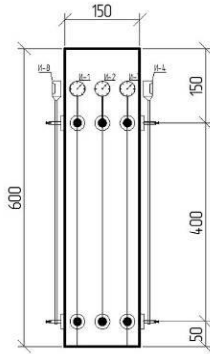


Рис. 3. Размещение индикаторов И-4...И-8 на опытном образце
(К-1, шм.2)

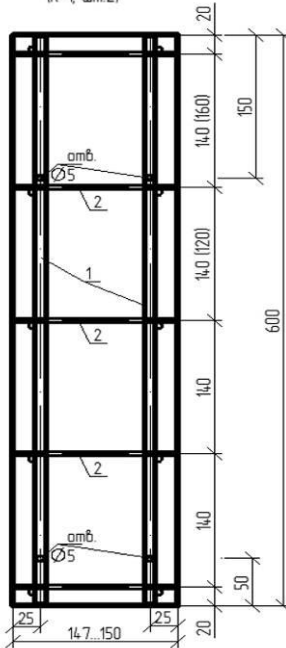


Рис. 4. Вариант каркаса опытного образца

- 1 – продольные арматурные стержни из стали класса S400, S500 длиной $L=590$ мм.
 На одну призму – 2 К-1, т.е 4 стержня. Для влияния армирования на стесненную
 усадку керамзитобетона будут использованы стержни $\varnothing 10, 12, 14, 16$ мм.
 2 – поперечные арматурные стержни $\varnothing 5$ мм на стали класса S240 (хомуты) длиной
 $l=147 \dots 150$ мм

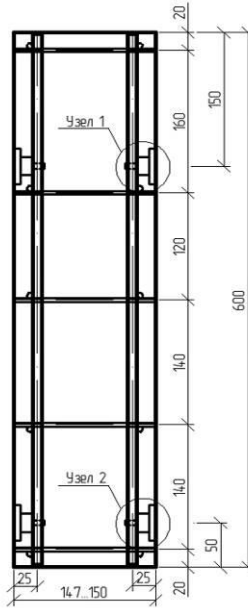


Рис. 5. Опытный образец с переходными штуцерами

Детализировка узлов опытного образца с переходными штуцерами представлена на рисунках 6, 7.

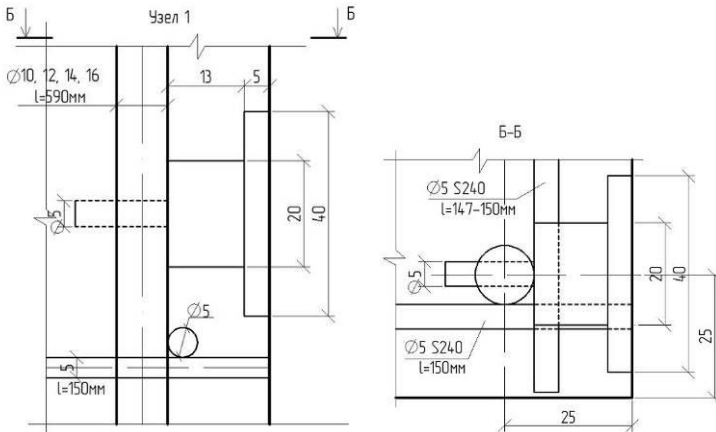


Рис. 6. Схема 1 узла опытного образца

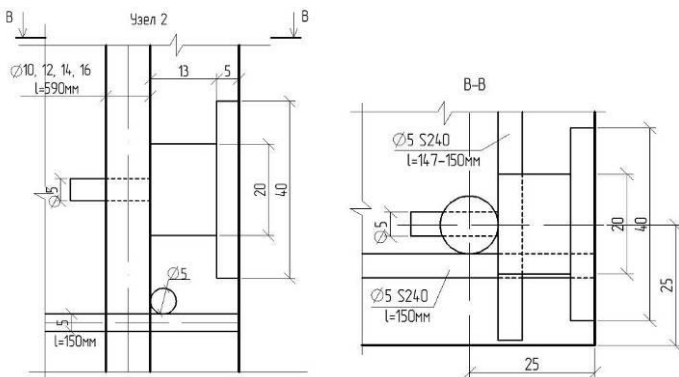


Рис. 7. Схема 2 узла опытного образца

При проектировании бетонных конструкций обычная проблема усадки заключается в том, чтобы не допустить чрезмерного увеличения ее величины. Чрезмерная усадка может привести к образованию трещин достаточного размера, чтобы разрушить внешний вид бетона или допустить попадание воды. Контроль величины усадки может быть осуществлен путем правильного выбора материалов, дозирования и отвердения. Теоретически, можно устранить все усадки, но требования для этого не будут практичными. Усадка является важным показателем в случае железобетона, так как она влияет на схватывание бетона с арматурой, уменьшая тем самым возможность проскальзывания стержня.

Размер трещин, образующихся при усадке бетона, может быть уменьшен за счет применения арматуры. Количество используемого армирования может быть недостаточно для значительного уменьшения общей величины усадки. Однако это может привести к образованию значительного количества мелких трещин, что лучше, чем несколько крупных.

Выводы. Существующие нормы проектирования для стандартных железобетонных конструкций не учитывают предварительного сжатия арматуры и предполагают, что стержни начинают работать с нулевой нагрузки, в то время как, напряжение от стесненной деформации усадки могут достигать 50 МПа и более. В преднапряженных конструкциях для погашения предварительного сжатия применяемой согласно расчета арматуры в бетоне существующий

способ проектирования изделия согласно ТКП EN требует избыточного количества растянутой арматуры.

Параллельно с этим, цель такого исследования - выяснить, дает ли усадка напряжение сжатия в стали достаточной величины, чтобы оправдать снижение требований к конструкциям на растяжение.