

УДК 67.03.03

ВЛИЯНИЕ УСАДКИ НА ДЕФОРМАЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ МАЛОЦИКЛОВЫХ НАГРУЖЕНИЯХ

С. А. Кокарев*Астраханский инженерно-строительный институт*

Усадка бетона вызывает появление внутренних напряжений в железобетонных элементах – растягивающих в бетоне и сжимающих в арматуре. Упруго сжатая арматура при растяжении железобетонного элемента до уровня, превышающего образование трещин, увеличивает ширину трещин, а при знакопеременном малоцикловом нагружении приводит к смещению диаграммы деформирования в сторону положительных деформаций. В статье на основе проведенных измерений усадки бетонных и железобетонных призм даны значения усадочных деформаций и предложен подход к учету усадочных деформаций в расчетах.

Ключевые слова: усадка бетона, свободная и стесненная усадка бетона, деформация, малоцикловое нагружение, зажатие, размыкание трещин, железобетонные стержневые элементы, усилие, бетон, арматура, растяжение, сжатие.

SHRINKAGE INFLUENCE TO THE DEFORMATION OF REINFORCED CONCRETE AXIAL ELEMENTS UNDER LOW-CYCLE LOADING

S. A. Kokarev*Astrakhan Institute of Civil Engineering*

Shrinkage of concrete causes internal stresses in reinforced concrete elements - tensile stresses in the concrete and compression ones to the rebar. Elastically compressed rebar with concrete element stretching to the level exceeding the cracking increases the width of the cracks and when the alternating low-cycle loading leads to a shift of the deformation graph to the direction of positive strains. In article on the basis of shrinkage measurements of reinforced concrete and concrete prisms there are given values of shrinkage deformations and there is offered an approach to account shrinkage deformations in the calculations.

Keywords: concrete shrinkage, free and constrained concrete shrinkage, strain, low-cycle loading, clamping, opening cracks, reinforced concrete axial elements, force, concrete, rebar, tension, compression.

В процессе твердения бетонной смеси происходит усадка бетона, которая зависит от многих факторов: температурно-влажностных условий твердения, состава бетона, водоцементного отношения и других. Согласно [1], в зависимости от факторов, вызывающих усадку, выделяют следующие ее виды:

- контракционную;
- влажностную до схватывания;
- влажностную после схватывания;
- карбонизационную;
- техническую.

При твердении основное влияние на развитие усадочных напряжений в бетоне оказывает влажностная усадка, связанная с удалением из него влаги.

Считается, что в неармированных бетонных образцах усадка протекает свободно. В армированных конструкциях арматура становится препятствием для свободной усадки бетона.

Усадка бетона, проходящая в железобетонных элементах, вызывает растяжение бетона и сжатие арматуры. В случае растяжения железобетонного элемента до заданного уровня, превышающего появление трещин в бетоне, арматура, упруго освобождаясь от сцепления с бетоном в местах трещин, вызывает повышение величины остаточных деформаций железобетонного элемента после разгрузки растяжения, а также смещение диаграммы знакопеременного деформирования в сторону положительных значений деформаций.

В существующих нормативных документах влияние усадки учитывается при определении усилий трещинообразования.

В данной статье приведены экспериментальные данные усадки бетона бетонных и железобетонных образцов-призм, рассмотрен один из вариантов учета влияния усадочных напряжений на деформации стержневого железобетонного элемента при повторном и знакопеременном нагружении. Определены деформации и напряжения в бетоне с учетом усадки на основе полученных зависимостей и опытных данных.

После первой разгрузки растяжения железобетонного элемента высвобождается большая часть стесненной из-за усадки бетона деформации арматуры. Далее, с увеличением числа циклов знакопеременного деформирования и уровня нагружения, эта величина продолжает постепенно возрастать.

Для учета влияния этого фактора были проведены измерения величины стесненной усадки бетона железобетонных стержневых образцов-призм (рис. 1). С этой целью были изготовлены две партии бетонных и железобетонных образцов призм стандартного размера 60x15x15 см. В каждую партию входят бетонная и железобетонная призмы и шесть кубиков размером 10x10x10 см из одного состава тяжелого бетона. Изготовление образцов и экспериментальные исследования проведены в лаборатории АИСИ. Составы бетонных смесей первой и второй партии приведены в таблице 1.

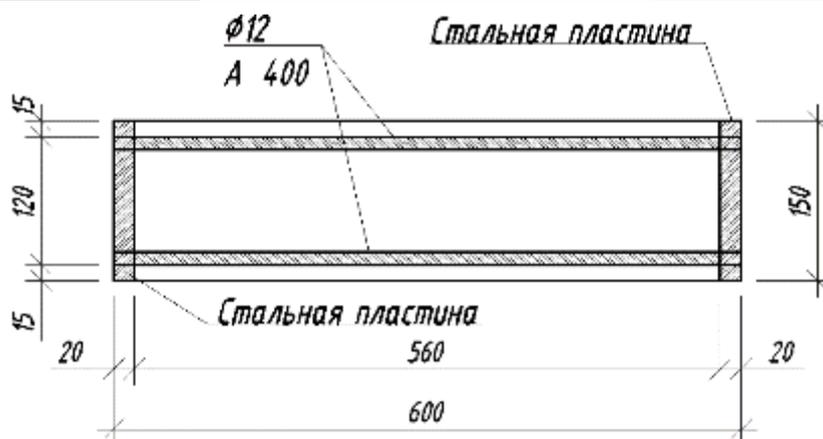


Рис. 1. Схема армирования призм

Таблица 1

Состав бетонных смесей

Партия	Цемент	Щебень	Песок	Водоцементное отношение
1	Себряковцемент (Цем П/А-Ш42.5 Н ГОСТ 31108-2003) 300 кг/м ³	фр. 5-20 1400 кг/м ³	М _{кр} = 1,2-1,3 600 кг/м ³	0,6
2	Себряковцемент (Цем П/А-Ш42.5 Н ГОСТ 31108-2003) 430 кг/м ³	фр. 5-20 1020 кг/м ³	М _{кр} = 1,2-1,3 756 кг/м ³	0,45

Железобетонные призм симметрично армированы четырьмя стержнями диаметром 12 мм арматуры класса А400 (см рис. 1). В торцах призм устанавливались пластины толщиной 20 мм с отверстиями для фиксации арматурных стержней. Арматура заводилась в отверстие пластины и фиксировалась при помощи сварки, что обеспечивало симметричность расположения стержней и надежность анкеровки.

После изготовления образцы были установлены в помещении лаборатории с постоянной влажностью и температурой для измерения усадочных деформаций (рис. 2). Параметры среды фиксировались в течение всего времени наблюдения за развитием усадочных деформаций при помощи аспирационного психрометра. Влажность воздуха в помещении составляла 85 %.

Процент армирования железобетонных призм равен 2. Для изготовления призм использовался тяжелый бетон. Образцы-кубики в 28-суточном возрасте показали прочность в первой партии 17,24 МПа, во второй партии 38,38 МПа. Прочность бетона регулировалась

соотношением составляющих бетонной смеси и водоцементным отношением.

Основные физико-механические характеристики бетона к моменту испытания балок приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные физико-механические характеристики бетона, МПа

№ партии	\bar{R}	R_{bn}	R_{bt}	E_{δ}
1	14,18	10,72	2,43	$2,23 \times 10^4$
2	21,71	20,57	3,75	$3,15 \times 10^4$

Измерения деформаций усадки бетона осуществлялись индикаторами часового типа с ценой деления 0,01 мм и 0,002 мм на базе 300 мм. Приборы для измерения деформаций были установлены на третьи сутки после бетонирования (рис. 3).

Развитие усадочных деформаций $\epsilon_{sl} - t$ (деформация усадки - время) показано на графиках, представленных на рис. 4.

Изменение разницы между деформациями усадки бетонных и железобетонных призм с течением времени представлено на рис. 5.

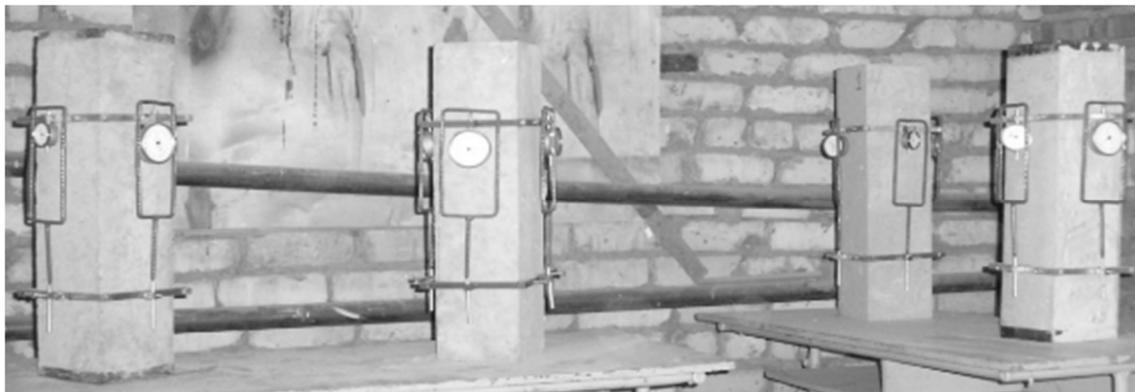


Рис. 2. Измерение усадочных деформаций на бетонных и железобетонных образцах-призмах (слева железобетонная и бетонная призмы первой, справа – второй партии)

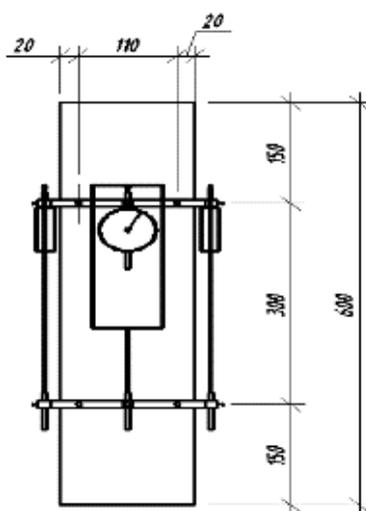


Рис. 3. Схема установки приборов

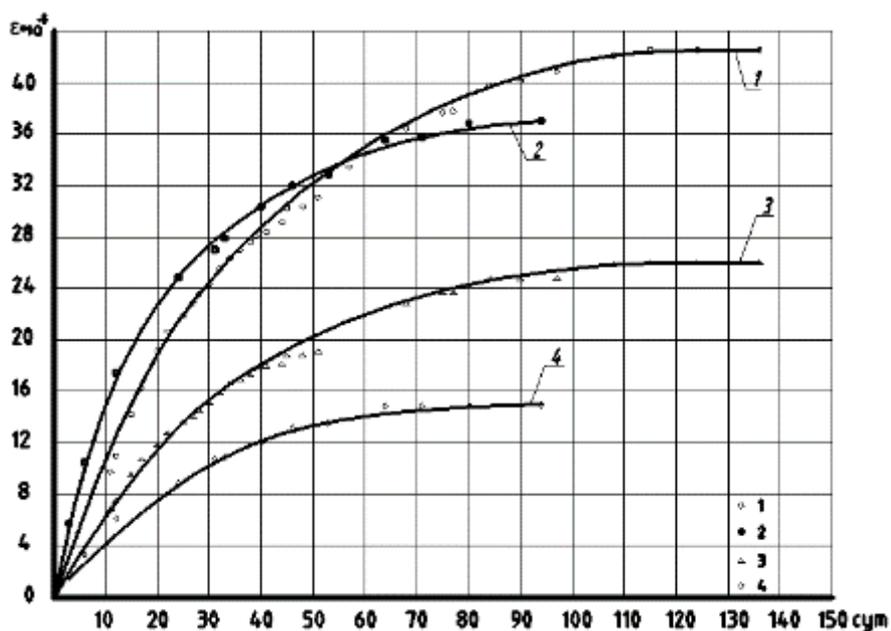


Рис. 4. Развитие деформаций бетонных и железобетонных призм:
 1 – бетонная призма первой партии, 2 – бетонная призма второй партии,
 3 – железобетонная призма первой партии, 4 – железобетонная призма второй партии

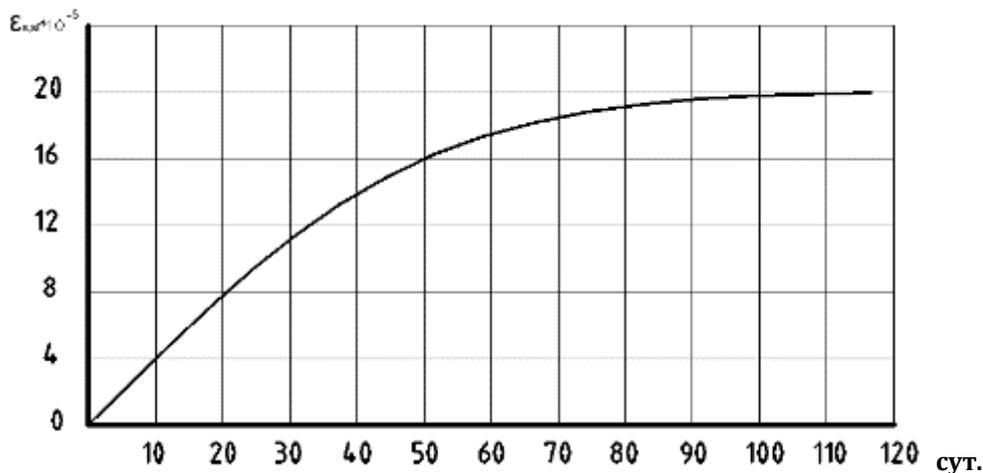


Рис. 5. Изменения разницы между деформациями усадки бетонных и железобетонных призм

Величина усадочных деформаций будет проявляться в процессе нагружения при растяжении, снижая сопротивление бетона образованию трещин. С появлением трещин средняя деформация железобетонного элемента будет возрастать на величину разности свободной и стесненной усадок. В работе [2] влияние усадки учитывается смещением начала координат на величину разности деформаций и усадочных напряжений в арматуре железобетонной призмы, однако, как показывают экспериментальные исследования [3], влияние усадки проявляется и в последующих циклах знакопеременного деформирования, но в большей степени зависит от уровня нагружения. С учетом этого влияние усадки в расчетах деформаций железобетонных стержневых элементов можно представить следующим выражением

$$\varepsilon = N \psi_s^r / (E_s A_s) + \Delta \varepsilon_{s,sl} \delta_{sl} \quad (1)$$

где N – текущее значение усилия; ψ_s^r – коэффициент, учитывающий влияние бетона на деформации арматуры, определяемый по [4]; E_s – модуль деформаций арматуры; A_s – площадь сечения арматуры; $\Delta \varepsilon_{s,sl}$ – величина разности свободной и стесненной усадки.

$\delta_{sl} = f(\eta)$ – функция изменения приращения усадочных деформаций при малоцикловом нагружении от уровня напряжений в арматуре.

При циклическом деформировании одного уровня приращения остаточных деформаций практически не происходит. Увеличение уровня нагружения приводит к заметному увеличению остаточных деформаций, в которых также возрастает доля деформаций разности свободной и стесненной усадки. В расчетах остаточных деформаций величину усадочной деформации, изменяющуюся в зависимости от уровня нагрузки можно определить по предложенной зависимости (1), где δ_{sl} выражается функцией степенного полинома $\delta_{sl} = 1,409 \eta + 0,686 \eta^2 - 1,143 \eta^3$.

Предлагается зависимость для уточнения расчетного значения остаточных деформаций после разгрузки растяжения, которая приведена в [4] (формула (4)), уточнить введением коэффициента, дающего значения, лучше совпадающие с опытными. Тогда данная зависимость будет иметь вид:

$$\varepsilon_{res} = (\sigma_s^r / E_s)(1 - \psi_s^r) \lambda^{nrr},$$

Полная остаточная деформация с учетом влияния усадки может быть определена следующим образом:

$$\varepsilon_{res,tot} = \varepsilon_{res} + \Delta \varepsilon_{s,sl} \delta_{sl}$$

Предложенная зависимость дает результаты, хорошо согласующиеся с опытными данными рис. 6.

С учетом усадки экспериментальный график знакопеременного деформирования железобетонной призмы представлен на рис. 7. На нем видно, что после разгрузки растяжения остаточная деформация составляет более 15 % максимальной, и после разгрузки сжатия остаточная деформация вновь принимает положительное значение. Это можно объяснить упругой работой арматуры, частично освободившейся от влияния усадки бетона. Смещение графика в сторону положительных деформаций сохраняется и при последующих циклах знакопеременного деформирования, что должно учитываться величиной δ_{sl} .

Таким образом, влияние усадки бетона, создавая внутренние напряжения до приложения внешней силы, существенно влияет на деформирование железобетонных элементов, и необходимо учитывать ее в расчетах.

В данной статье, на основе проведенных испытаний, определено изменение разности свободной и стесненной усадки и предложен вариант ее учета в расчетах деформаций железобетонных элементов при малоцикловых нагружениях.

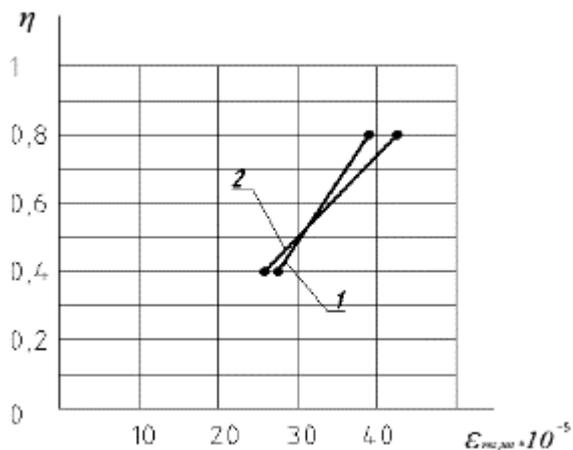


Рис. 6. Значения остаточных деформаций с учетом усадки после разгрузки растяжения до уровней η :
1 – расчетные значения, 2 – опытные значения

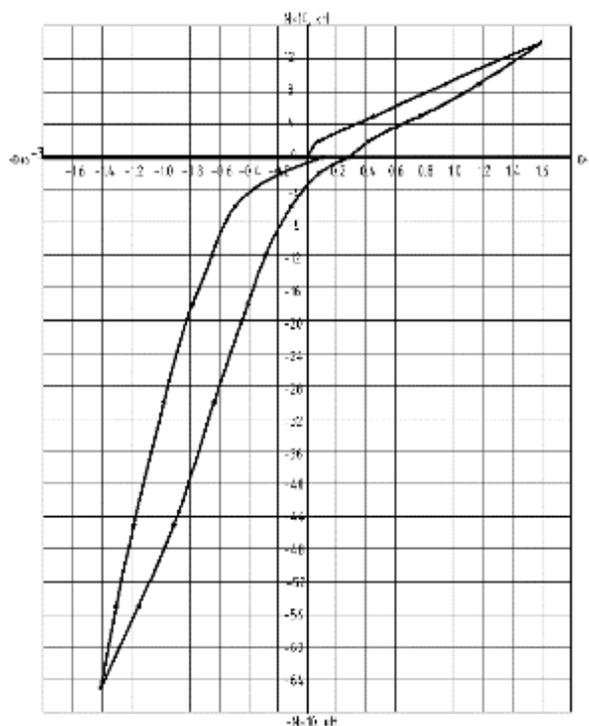


Рис. 7. Экспериментальный график знакопеременного деформирования железобетонной призмы

Список литературы

1. Шведов В. Н. Усадка и трещиностойкость бетонов : монография. Кишинев : Штиинца, 1985.
2. Ерышев В. А. Методика расчета деформации бетона при режимных нагружениях : монография. Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014. 131 с.: пер.
3. Кокарев А. М. Деформация железобетонных элементов с трещинами при повторных и знакопеременных нагружениях и разгрузках : автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1983. 22 с.
4. Кокарев С. А., Кокарев А. М. К вопросу оценки деформаций зажатия трещин стержневых железобетонных элементов // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 8. С. 46–47.

© С. А. Кокарев

Ссылка для цитирования:

Кокарев С. А. Влияние усадки на деформации железобетонных стержневых элементов при малоцикловых нагружениях // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский инженерно-строительный институт. Астрахань : ГАOU АО ВПО «АИСИ», 2015. № 1 (11). С. 36–40.