

УДК 691.32

РАЗВИТИЕ ДЕФОРМАЦИЙ УСАДКИ КЕРАМЗИТОБЕТОНА

В.А. Ржевущая

Белорусско-Российский университет, Республика Беларусь

e-mail: valeriarzhevuckaya@gmail.com

В статье представлен аналитический обзор по исследуемой тематике, рассмотрены основные факторы, влияющие на усадочные деформации бетона, отмечены характерные особенности развития деформаций усадки керамзитобетона. Описана методика проведения эксперимента. В материалах статьи изложены результаты исследований деформаций усадки керамзитобетона на основе местного сырья. Предложена логарифмическая зависимость, позволяющая оценить развитие относительных усадочных деформаций во времени.

Ключевые слова: легкий бетон, керамзитобетон, усадка, влажностная усадка, деформации, трещинообразование, заполнители.

DEVELOPMENT OF SHRINKAGE DEFORMATIONS OF EXPANDED CLAY CONCRETE

V. Rzhevutskaya

Belarusian-Russian University, Republic of Belarus

e-mail: valeriarzhevuckaya@gmail.com

The article presents an analytical review on the investigation subject. The main factors affecting the shrinkage deformations of concrete are considered, the characteristic features of the development of shrinkage deformations of expanded clay concrete are described. The method of the experiment is considered. The article presents the results of investigations of the shrinkage deformation of expanded clay concrete based on local raw materials. The logarithmic dependence is proposed. This dependence makes it possible to assess the development of relative shrinkage deformations over time.

Keywords: lightweight concrete, expanded clay concrete, shrinkage, drying shrinkage, deformations, cracking, aggregates.

Введение. Под усадкой принято понимать макроскопическое изменение объема бетона при твердении в воздушной среде [1]. Различают контракционную, карбонизационную и влажностную усадку [2].

На итоговые значения деформаций усадки бетона влияют многие факторы: состав бетона; водоцементное отношение; крупный и мелкий заполнитель; вид и активность цемента; наличие добавок; размеры образца; прочность и плотность бетона; производственные, технические и механические факторы; температура и влажность окружающей среды; условия твердения бетона; сопротивляемость к образованию трещин [1, 2–8]. Факторы, представленные выше, влияют не только на усадочные деформации керамзитобетона, но и оказывают существенный эффект на его прочность.

Для керамзитобетона характерна высокая трещиностойкость [9–11] и большие деформации усадки, чем для равнопрочного бетона на плотном заполнителе [12], примерно на 15–25 % больше [13], что связано с невысоким модулем упругости керамзита [14]. Например, в [15] опытные конечные значения усадочных деформаций керамзитобетонных образцов составили 0,66–0,9 %, а в [16] деформации усадки достигли итоговых значений в пределах 0,58–0,65 %.

Развитие усадки керамзитобетона - довольно длительный процесс, наблюдающийся в течение двух лет, однако наиболее интенсивно усадочные деформации проявляются в начальном периоде твердения бетона и в первый год, причем в первые 3-40 часов происходит увеличение объема образца, вследствие тепловое расширение заземленного воздуха под влиянием экзотермической теплоты [17, 18].

Основная часть. Следующие материалы были использованы для изготовления опытных образцов:

- портландцемент марки М500 производства ОАО «Белорусский цементный завод» (активность 48,08 МПа);
- речной песок (средняя плотность 1660 кг/м³);
- керамзитовый гравий производства ОАО «Завод керамзитового гравия г. Новолукомль» (фракция 4–10 мм).

Подбор состава бетонной смеси был осуществлен на основании рекомендаций по подбору состава керамзитобетона, разработанными РУП «Институт БелНИИС» [19]. Состав бетонной смеси: Ц : П : К = 1 : 1,84 : 0,79, водоцементное отношение (В/Ц) = 0,52.

Исследования процесса развития усадки осуществлялись на образцах-призмах размером 150x150x600 мм в соответствии с [20]. Хранение опытных образцов осуществлялось при нормально-влажностных условиях.

Усадочные деформации керамзитобетона замерялись при помощи индикаторов часового типа (цена деления 0,001 мм и 0,002 мм) на каждой грани посередине испытываемого образца.

Испытания свободной усадки керамзитобетона проводились по продолжительности не менее 120 суток.

Процесс подготовки образцов-призм к испытаниям включал в себя следующие этапы:

1. Определение характеристик используемых материалов (песок, керамзит, цемент);
2. Подбор состава керамзитобетона на основе определенных характеристик материалов в соответствии с [19];
3. Визуальный осмотр образцов-призм, устранение на поверхностях керамзитобетона наплывов, взвешивание опытных образцов на весах (с погрешностью 10 г), измерение размеров образцов-призм (с точностью до 1 мм). Запись результатов данных в журнал испытаний.
4. Приклеивание после набора прочности керамзитобетоном (не менее 1 сут.) к опытному образцу стальных реперов. При необходимости обезжиривание приклеиваемой поверхности репера органическим растворителем.
5. Установка индикаторов в отверстия стальных реперов.
6. Снятие показаний экспериментальных данных через сутки, затем на 3, 7, 14 сутки согласно [20]. Поддержание при проведении испытаний нормального температурно-влажностный режима окружающей среды (при температуре 20±2 °С и относительной влажности воздуха 60±5 %).
7. Фиксирование показаний индикаторами часового типа деформаций усадки керамзитобетона.
8. Определение основных прочностных и деформативных характеристик при наборе прочности керамзитобетона (не менее 28 сут.): кубиковой, цилиндрической и призмочной прочности; продольных и поперечных деформаций; модуля упругости и модуля сдвига; коэффициента Пуассона в соответствии с [21, 22].

Результаты эмпирических данных средних относительных деформаций усадки керамзитобетона приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Результаты определения деформаций усадки керамзитобетона

Возраст бетона t, сут	7	14	21	28	60	90	120
Относительные деформации усадки, $\varepsilon_{ics}(t, t_0) \times 10^5$	0	6,56	14,04	17,39	30,09	36,92	44,85

На рисунке 1 представлен процесс развития средних относительных деформаций усадки керамзитобетона во времени.

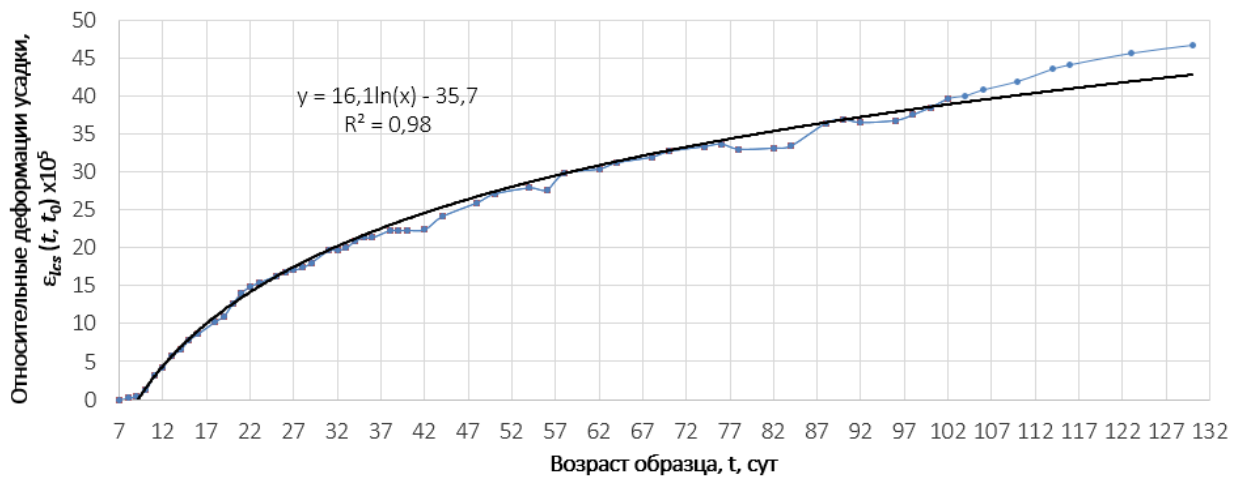


Рисунок 1. – Развитие средних относительных деформаций усадки керамзитобетона во времени

Предварительно на основании результатов испытания опытных образцов-призм для аналитического определения получена следующая логарифмическая зависимость, позволяющая оценить развитие относительных усадочных деформаций во времени (коэффициент детерминации $R^2 = 0,98$):

$$\varepsilon_{ics}(t, t_0) = 16,1\ln(t) - 35,7, \quad (1)$$

где $\varepsilon_{ics}(t, t_0)$ – величина относительных деформаций усадки керамзитобетона;
t – возраст бетона, сут.

Заключение. Относительно высокие величины усадочных деформаций отрицательно сказываются на прочностных характеристиках керамзитобетона, трещинообразовании и долговечности. Основные факторы, влияющие на деформации усадки бетона, оказывают в свою очередь существенный эффект на его прочность. Необходимо учесть соответствующие факторы при подборе бетонной смеси, поскольку существует взаимосвязь между прочностью на сжатие и усадкой бетона. Таким образом, полученные экспериментальные данные и предложенная логарифмическая зависимость позволяют оценить особенности развития относительных усадочных деформаций во времени и способствуют усовершенствованию математической модели расчета деформаций усадки керамзитобетона, изготовленного на основе местной сырьевой базы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Симонов, М. З. Основы технологии легких бетонов / М. З. Симонов – Москва : Стройиздат, 1973. – 58 с.
2. Rzhvutskaya, V. A. Shrinkage of expanded clay concrete: A review / V. A. Rzhvutskaya // AlfaBuild. – 2020. – Vol. 15, iss. 3. – 6 p. doi: 10.34910/ALF.15.1
3. Effect of nano-SiO₂ on strength, shrinkage and cracking sensitivity of lightweight aggregate concrete / X. F. Wang [et al.] // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 175. – P. 115–125.
4. Field evaluation of the impact of environmental conditions on concrete moisture-related shrinkage and coefficient of thermal expansion / A. Mateos [et al.] // Cement and Concrete Research. – 2019. – Vol. 225. – P. 348–357.

5. Gong, J. Influence of shrinkage-reducing agent and polypropylene fiber on shrinkage of ceramsite concrete / J. Gong, W. Zeng, W. Zhang // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Vol. 159. – P. 155–163.
6. Hawreen, A. Creep, shrinkage and mechanical properties of concrete reinforced with different types of carbon nanotubes / A. Hawreen, J. A. Bogas // *Construction and Building Materials*. – 2019. – Vol. 198. – P. 70–81.
7. Hussein, Z. M. Shrinkage and impact strength of fibre-reinforced artificial lightweight aggregate concrete / Z. M. Hussein, W. I. Khalil, H. K. Ahmed // *Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 671, iss. 1. – P. 1–11.
8. Lee, K. Shrinkage strains of lightweight aggregate concrete using expanded bottom ash and dredged soil granules / K. Lee, K. Yang, H. Yoon // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Vol. 188. – P. 934–945.
9. Семенюк, С. Д. Методики определения границ микротрещинообразования / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова // *Строительство уникальных зданий и сооружений. Construction of Unique Buildings and Structures*. – 2018. – № 7(70). – С. 22–30. doi: 10.18720/CUBS.70.2.
10. Семенюк, С. Д. Определение границ образования микротрещин в зависимости от плотности керамзитобетона / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова // *Научный журнал строительства и архитектуры*. – 2018. – № 52(4). – С. 129–136. doi: 10.25987/VSTU.2018.52.4.012.
11. Москалькова, Ю. Г. Особенности расчета железобетонных конструкций из обычного и легкого бетонов при усилении набетонкой в условиях статического малоциклового нагружения / Ю. Г. Москалькова // *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві : зб. наук. праць / Луцький НТУ ; редкол. : П. П. Савчук [и др.]*. – Луцьк, 2019. – Вип. 12. – С. 123–131. doi: 10.36910/6775-2410-6208-2019-2(12)-15.
12. Семенюк, С. Д. Особенности определения стесненной усадки керамзитожеле-зобетона / С. Д. Семенюк, Ю. Г. Москалькова, В. А. Ржевущая // *Вестник Полоцкого гос. ун-та. Серия F. Строительство. Прикладные науки*. – Новополоцк, 2020. – № 8. – С. 58–65.
13. Кудрявцев, А. А. Предварительно-напряженный керамзитобетон / А. А. Кудрявцев – М. : Стройиздат, 1974. – 93 с.
14. Kaszyńska, M. Influence of mixture composition on shrinkage cracking of lightweight self-consolidating concrete / M. Kaszyńska, A. Zieliński // *Brittle Matrix Composites 10*. – 2012. – P. 265–274.
15. Кравченко, С. А. Экспериментальное исследование усадки, ползучести и потерь напряжения в арматуре элементов из керамзитобетона на многокомпонентном вяжущем / С. А. Кравченко, А. А. Постернак // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. – 2014. – № 56. – С. 124–128.
16. Штерн, В. О. Конструктивные свойства керамзитозобетона и особенности работы изгибаемых элементов из него : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01 / В. О. Штерн. – Челябинск, 1990. – 17 с.
17. Bentur, A. Prevention of autogenous shrinkage in high-strength concrete by internal curing using wet lightweight aggregates / A. Bentur, Sh. Igarashi, K. Kovler // *Cement and Concrete Research*. – 2001. – Vol. 31. – P. 1587–1591.
18. Wendling, A. Creep and shrinkage of lightweight self-consolidating concrete for prestressed members / A. Wendling, K. Sadhasivam, R. W. Floyd // *Construction Building Materials*. – 2018. – Vol. 167. – P. 205–215.
19. Рекомендации по подбору составов, изготовлению и применению модифицированных химическими и минеральными добавками конструкционно-теплоизоляционного и конструкционного керамзитобетонов / РУП «Институт БелНИИС». – Минск : РУП «Стройтехнорм», 2013. – 38
20. Бетоны. Методы определения деформаций усадки и ползучести = Бетоны. Методы визначення деформацій усадження і паўзучасці : ГОСТ 24544-81*. – Переиздание (ноябрь 1987 г.) с Изменением № 1 (введено в действие с 01.05.1985, утверждено 24.04.1985) ; введ. 01.01.1982. – Москва : Госстандарт, 1980. – 26 с.
21. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам = Методы визначення триваласці па кантрольных узораў : ГОСТ 10180-2012. – Взамен ГОСТ 10180-90 ; введ. 01.07.2013. – М. : Стандартиформ, 2013. – 30 с.
22. Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости, коэффициента Пуассона = Бетоны. Методы визначення призмочной триваласці, модуля пругканасці, каэфіцыента Пуасона : ГОСТ 24452-80. – Переиздание (июль 1989 г.) ; Введ. 01.01.1982. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 16 с.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2021

УДК 72:624/628+69(082)

Одобрено и рекомендовано в качестве электронного издания
Советом инженерно-строительного факультета (протокол № 8 от 27.10.2021 г.)

Редакционная коллегия:

Д. Н. Лазовский (председатель), А. А. Бакатович, Е. Д. Лазовский,
Л. М. Парфенова, Ю. В. Вишнякова, Р. М. Платонова, А. М. Хаткевич

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ
[Электронный ресурс] : электрон. сб. ст. III междунар. науч. конф., Новополоцк, 29–30 апр.
2021 г. / Полоц. гос. ун-т ; Редкол.: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. – Новополоцк :
Полоц. гос. ун-т, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
ISBN 978-985-531-779-2.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018 г.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379
ISBN 978-985-531-779-2

©Полоцкий государственный университет, 2021

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Технический редактор *И. Н. Чапкевич.*

Компьютерная верстка *А. А. Прадидовой, С.Е. Рясовой.*

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой.*

Подписано к использованию 09.11.2021.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>