

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-5>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/07TVN515.pdf>

DOI: 10.15862/07TVN515 (<http://dx.doi.org/10.15862/07TVN515>)

**УДК 691.327**

**Несветаев Григорий Васильевич**

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»

Россия, г. Ростов-на-Дону<sup>1</sup>

Заведующий кафедрой «Технологии строительного производства»

Доктор технических наук

Профессор

E-mail: nesgrin@yandex.ru

**Щербинина Татьяна Андреевна**

ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет»

Россия, г. Ростов-на-Дону

Магистр

E-mail: kireeva-2006@yandex.ru

## **К вопросу нормирования усадки цементных бетонов**

---

<sup>1</sup> 344022, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162

**Аннотация.** Поскольку усадка цементных бетонов негативно влияет на долговечность железобетонных конструкций, одной из ключевых задач является определение величины усадки бетона в зависимости от свойств материалов, параметров среды и геометрии конструкции. В настоящей работе поставлена задача определения зависимостей «величина В/Ц – влажность цементного камня при гигрометрическом равновесии» и «влажность среды – усадка бетона». Выявлена зависимость относительной влажности цементного  $f_{цк}$  камня от относительной влажности воздуха  $f_v$  и предложено соответствующее уравнение. Подтверждена линейная зависимость усадки при высыхании на воздухе и полной усадки в зависимости от величины В/Ц. Установлена зависимость относительной усадки цементного камня от относительной влажности воздуха и высказано предположение о том, что изменение усадки бетонов, полученных из различных цементов, может иметь некоторые количественные различия при одинаковой или подобной качественной картине. Показано различие в закономерности изменения усадки бетона при уменьшении влажности среды, установленной в работе и нормируемыми значениями в EN 1992-1-1 и Рекомендациями НИИЖБ.

**Ключевые слова:** бетон; цементный камень; усадка; деформации; относительная влажность; влажностная усадка; поровая структура; закономерность; нормирование.

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

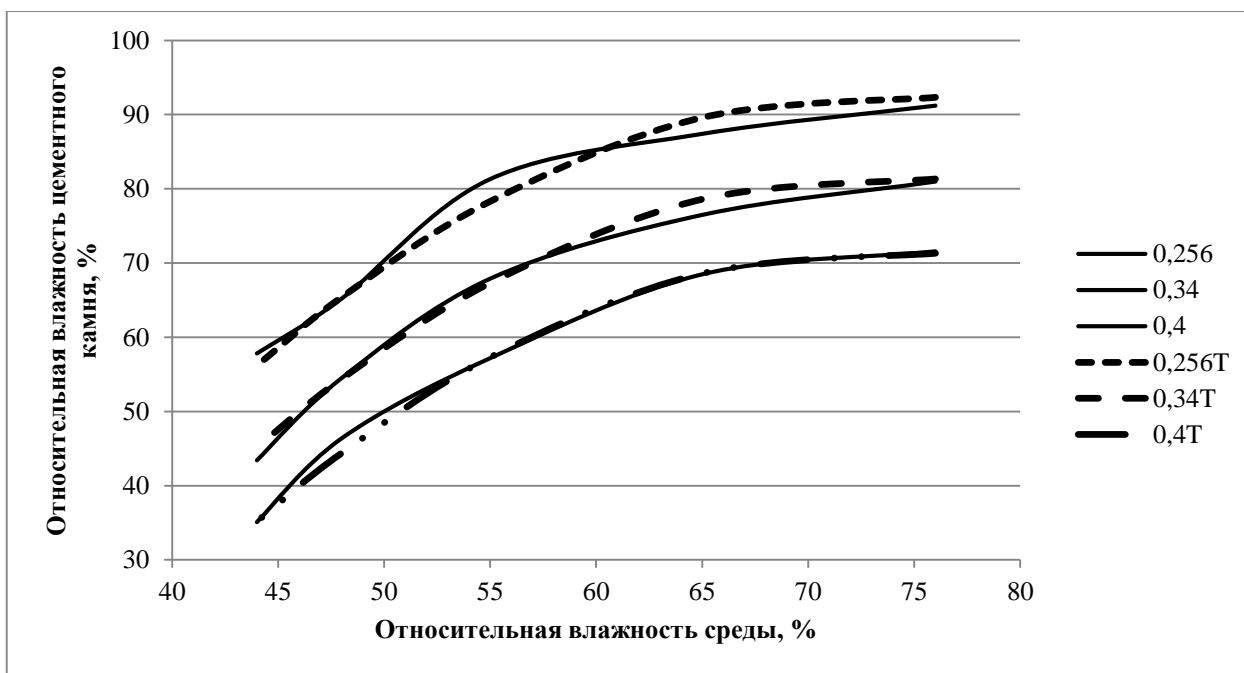
Несветаев Г.В., Щербинина Т.А. К вопросу нормирования усадки цементных бетонов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №5 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/07TVN515.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/07TVN515

Проблеме изучения природы усадочных деформаций посвящены многочисленные исследования, поскольку усадка цементных бетонов негативно влияет на долговечность железобетонных конструкций. Одной из ключевых задач является определение величины усадки бетона в зависимости от свойств материалов, параметров среды и геометрии конструкции [1 - 8], в связи с тем, что, согласно Шейкину А.Е. [6], измеряемые (проявившиеся) деформации усадки зависят от трех групп факторов: рецептурно-технологических (тип цемента, состав и условия твердения бетона, модуль упругости и пористость заполнителей, наличие добавок и др), геометрических параметров конструкции, параметров внешней среды (температура, относительная влажность, скорость движения воздуха).

Различают усадку вследствие происходящих в цементном камне химических процессов: при гидратации – контракционная усадка, при взаимодействии продуктов гидратации с проникающими из внешней среды компонентами – карбонизационная усадка, а также усадку вследствие физических и физико-химических процессов, связанных с обезвоживанием структуры цементного камня – влажностная усадка и радиационная усадка [1, 2].

Среди основных причин влажностной усадки исследователями рассматривались: действие капиллярных сил; испарение адсорбционно связанной воды из гелевой составляющей цементного камня; межмолекулярное взаимодействие вследствие удаления межкристаллической воды; удаление воды из межслоевых зазоров кристаллической структуры гидросиликатов кальция [1, 2]. По Цилосани З.Н. [7] в зависимости от вида испаряемой воды меняется механизм усадки: испарение механически связанной воды из крупных пор не сопровождается усадкой. Развитие усадки начинается при образовании менисков в капиллярах сечением 35 – 53 мкм, т.е. при относительной влажности воздуха 98 – 40%. По Шейкину А.Е. [6] при относительной влажности менее 60% начинает удаляться адсорбционно связанная вода, а при относительной влажности менее 45% удаляется вода, находящаяся между слоями кристаллической структуры гидросиликатов кальция (т.н. межплоскостная вода), что сопровождается значительной усадкой. Вследствие этого величина усадки будет в значительной степени определяться параметрами поровой структуры цементного камня, которая зависит, в первую очередь, от величины В/Ц, и влажностью цементного камня, которая будет определяться относительной влажностью среды и поровой структурой цементного камня. В настоящей работе поставлена задача определения зависимостей «величина В/Ц – влажность цементного камня при гигрометрическом равновесии» и «влажность среды – усадка бетона».

Для решения первой задачи образцы 40x40x160, изготовленные из цементного теста с В/Ц 0,256; 0,34 и 0,4 после 18ч выдерживания в формах помещались в среду с фиксированной относительной влажностью, что обеспечивалось использованием солей по ГОСТ 29244. Изменялись изменение массы и линейных размеров образцов. На рис. 1 представлена зависимость относительной влажности цементного камня от относительной влажности воздуха.



**Рис. 1.** Зависимость относительной влажности цементного камня от величины В/Ц и относительной влажности среды

0,256; 0,34; 0,4 – измеренные значения при соответствующей величина В/Ц; 0,256Т; 0,34Т; 0,4Т – расчетные значения по ф.(1).

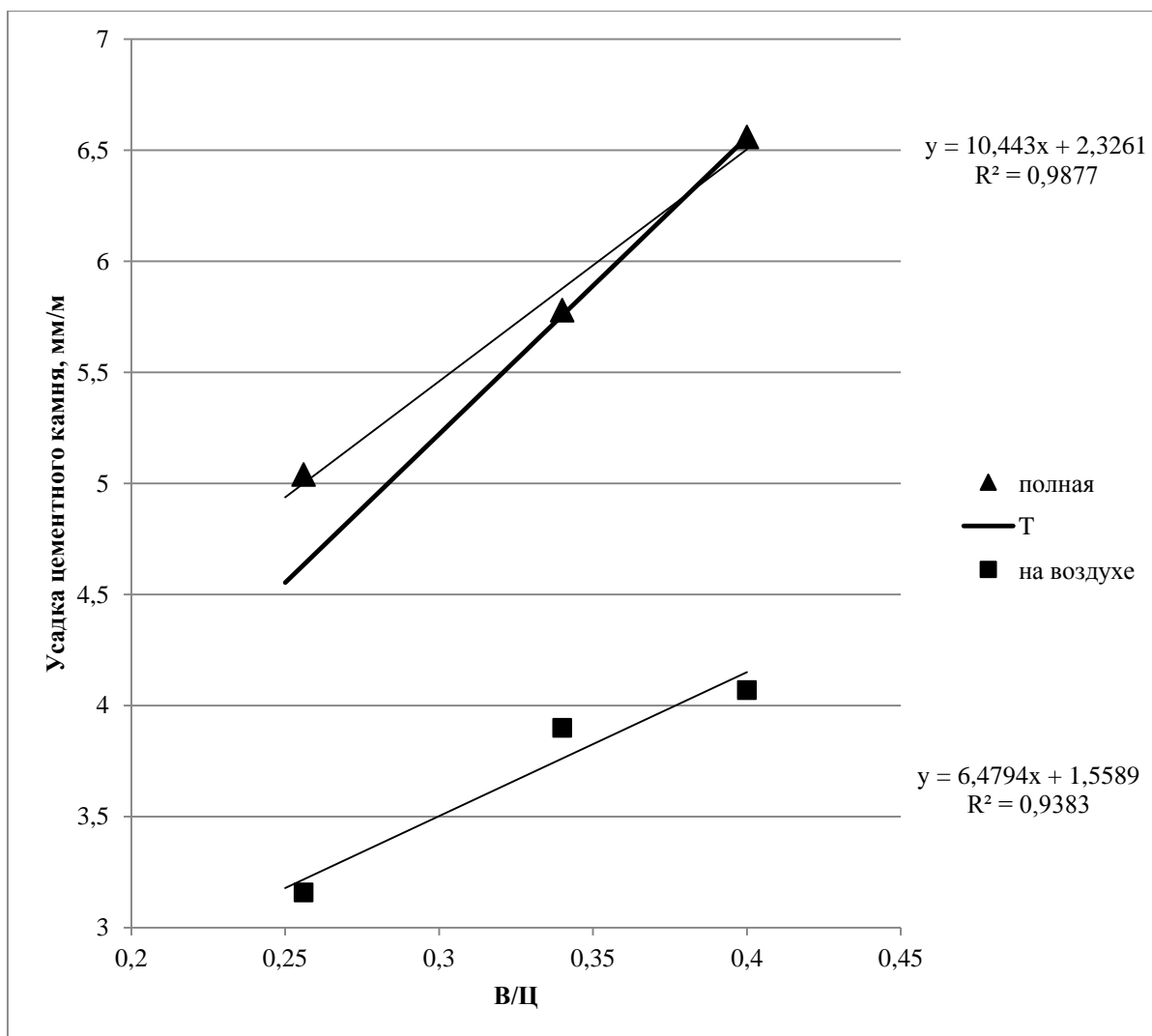
Под относительной влажностью цементного камня подразумевается величина, равная отношению текущей влажности цементного камня к влажности при его полном водонасыщении. Под относительной усадкой цементного камня подразумевается величина, равная отношению текущего значения усадки к величине полной усадки после высушивания цементного камня при 105°С.

Зависимость относительной влажности цементного  $\varphi_{цк}$  камня от относительной влажности воздуха  $\varphi_{в}$  описывается уравнением

$$\varphi_{цк} = -0,042 \cdot \varphi_{в}^2 + 6,17 \cdot \varphi_{в} - 145 \cdot \frac{В}{Ц} - 96, \quad (1)$$

из которого следует, что при уменьшении величины В/Ц относительная влажность цементного камня возрастает, что вполне закономерно, поскольку при уменьшении величины В/Ц формируется мелкопористая структура, хорошо удерживающая воду.

На рис. 2 представлена зависимость конечной величины усадки цементного камня от величины В/Ц. Конечные значения усадки определены после стабилизации деформаций при выдерживании образцов в помещении лаборатории (на воздухе) и после полного высушивания при 105°С (полная).



**Рис. 2.** Зависимость величины усадки цементного камня от величины В/Ц полная, на воздухе – экспериментальные данные; Т – по формуле  $\epsilon_{sh} = [\epsilon] \cdot (2 \cdot \frac{B}{C} + 0,18)$  [2]

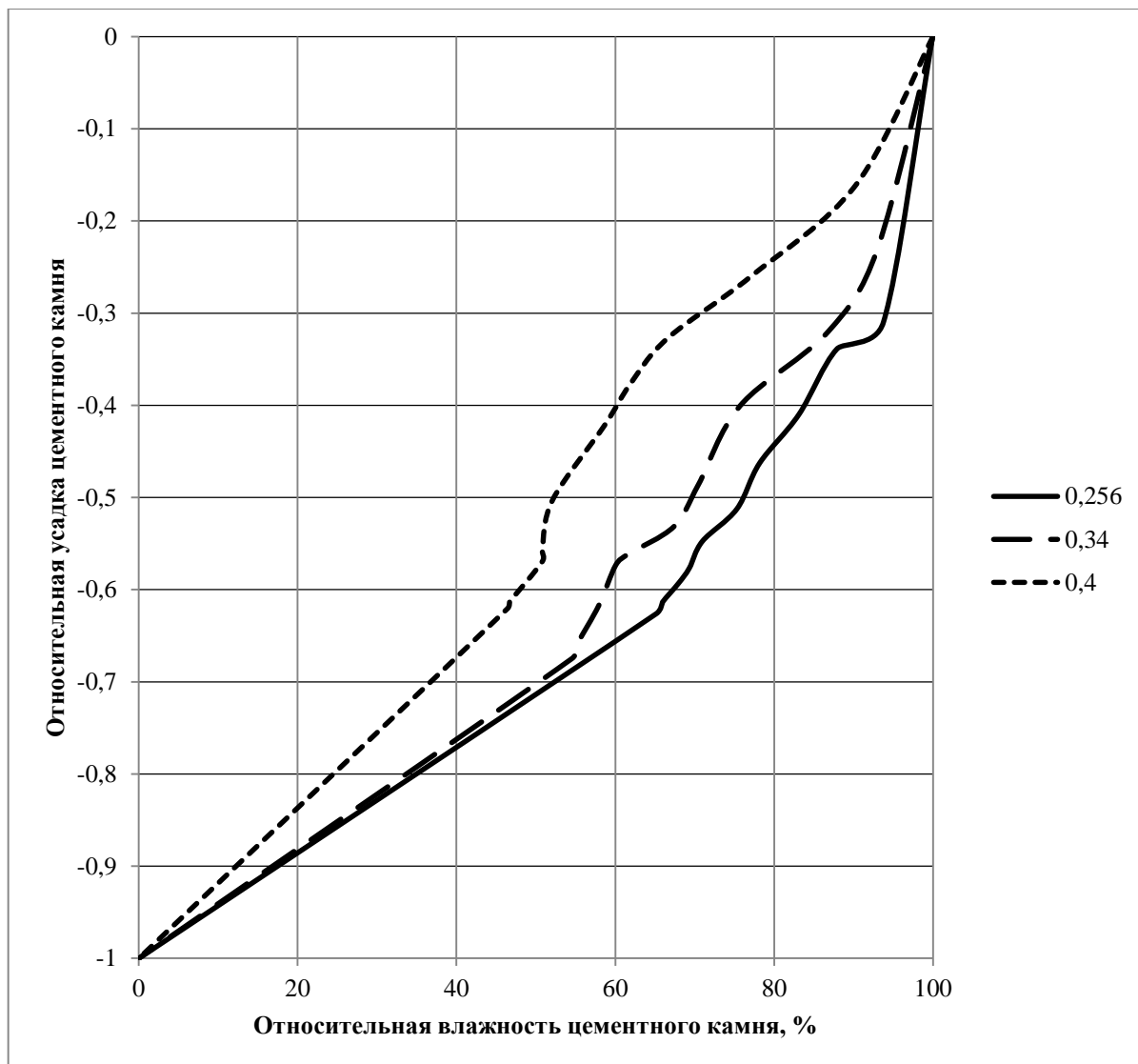
Из данных рис. 2 следует зависимость величины усадки цементного камня от величины В/Ц.

$$\epsilon_{sh} = [\epsilon] \cdot (a \cdot \frac{B}{C} + b), \quad (2)$$

где  $a = 1,6$ ;  $b = 1,36$  для полных значений усадки и  $1,38$  для усадки при выдерживании в помещении лаборатории.

Расчетные значения по ф.(2) отличаются от расчетных значений по формуле  $\epsilon_{sh} = [\epsilon] \cdot (2 \cdot \frac{B}{C} + 0,18)$  [2] менее чем на 10% в диапазоне изменения В/Ц от 0,25 до 0,4.

На рис. 3 представлена зависимость относительной усадки цементного камня от относительной влажности цементного камня.



**Рис. 3.** Изменение относительной усадки цементного камня от его относительной влажности 0,256; 0,34 и 0,4 – значения В/Ц

Из данных на рис. 3 получена зависимость изменения относительной усадки цементного камня от его относительной влажности (табл. 1). На основании зависимости табл.1 с учетом ф.(1) получена зависимость относительной усадки цементного камня от относительной влажности воздуха (табл. 2). В табл. 3 представлены данные о величине усадки цементного камня в зависимости от относительной влажности воздуха.

**Таблица 1**

**Зависимость относительной усадки цементного камня от относительной влажности цементного камня**

Относительная влажность цементного камня, %	Относительная усадка цементного камня				
	при В/Ц			по [8]	по [9]
	0,256	0,34	0,4		
80	0,44	0,37	0,24	0,19	0,1
70	0,57	0,54	0,31	0,23	0,32
60	0,66	0,58	0,4	0,4	0,58
50	0,71	0,7	0,58	0,5	0,68
40	0,77	0,76	0,67	0,6	0,75
30	0,83	0,82	0,75	0,68	0,81

**Таблица 2**

**Зависимость относительной усадки цементного камня от относительной влажности воздуха**

Относительная влажность воздуха, %	Относительная усадка цементного камня при В/Ц		
	0,256	0,34	0,4
80	0,22	0,37	0,31
60	0,4	0,4	0,36
40	0,74	0,79	0,79

**Таблица 3**

**Зависимость усадки цементного камня, мм/м, от относительной влажности воздуха**

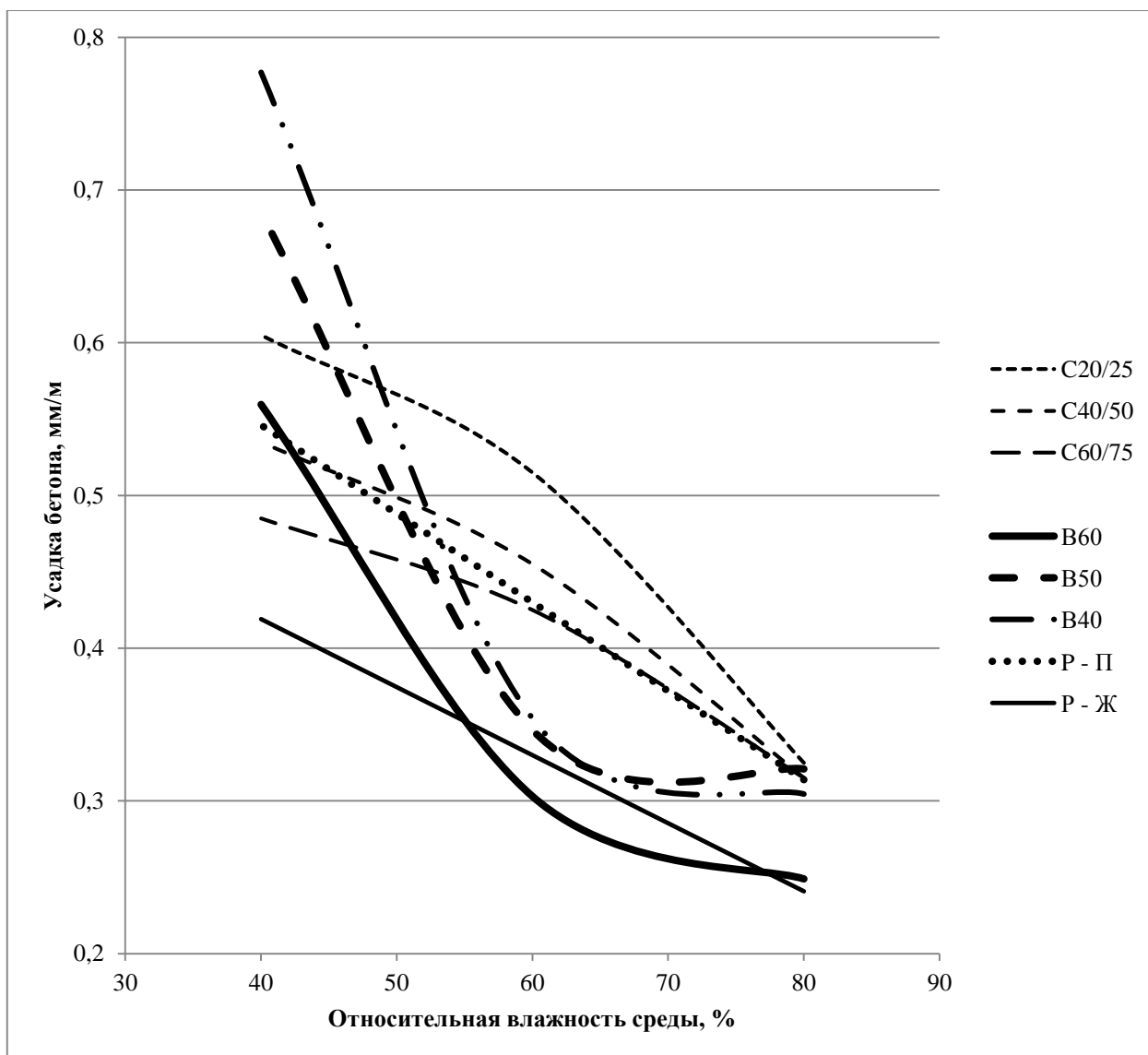
Относительная влажность воздуха, %	Усадка цементного камня при В/Ц		
	0,256	0,34	0,4
80	1,66	2,14	2,03
60	2,02	2,31	2,36
40	3,73	4,57	5,18

Из данных табл. 1 очевидно, что относительная усадка цементного камня зависит от величины В/Ц, но с уменьшением влажности цементного камня это различие уменьшается. Кроме того, с достаточной для практических целей точностью можно утверждать, что закономерность изменения усадки с уменьшением влажности мало зависит от вида цемента, поскольку закономерность изменения по опытам авторов и данным более чем десятилетней давности [8, 9] подобна. Из сказанного можно сделать вывод о том, что изменение усадки бетонов, полученных на различных цементах, может иметь некоторые количественные различия при одинаковой или подобной качественной картине, что очень важно для построения предложений по нормированию усадки для практического применения.

Для перехода от усадки цементного камня к усадке бетона  $\epsilon_{sh,б}$  используем известную зависимость [2].

$$\epsilon_{sh,б} = k \cdot \epsilon_{sh,цк}, \quad (3)$$

в которой значение коэффициента  $k$  примем в первом приближении 0,15 [2]. На рис. 4 представлено сопоставление значений усадки, определенных по результатам настоящего исследования (ф.(3), табл. 1-3), с нормируемыми значениями по EN 1992-1-1 и рекомендациям НИИЖБ [10].



**Рис. 4.** Зависимость усадки бетона от относительной влажности среды C20/25... C60/75 – по EN 1992-1-1 для бетонов, эквивалентных классам B25, B50 и B75 соответственно; B60...B40 – расчет по данным авторов; P – П (Ж) – по рекомендациям [10] для бетонов B25...B60 соответственно из подвижных и жестких смесей

Из данных на рис. 4 очевидно, что значения усадки бетона, определенные по различным источникам, и по материалам данной работы, различаются не только и не столько количественно, но, в основном, качественно. Так, при относительной влажности воздуха 40% (согласно СНиП 23-01-99 (2003) относительная среднемесячная влажность воздуха в 15 ч дня наиболее жаркого месяца составляет в Ростовской области – 40%, в Краснодарском крае – 43%, в Ставропольском крае – 35%) значения усадки бетона могут составить: 0,43 – 0,56 мм/м по Рекомендациям НИИЖБ, 0,48 – 0,6 мм/м по EN 1992-1-1 и 0,56 – 0,77 мм/м по данным авторов. Следует отметить тот факт, что по данным, полученным в настоящей работе, усадка бетона резко возрастает при влажности среды менее 60%, что полностью согласуется, как уже отмечалось выше, с утверждением Шейкина А.Е о том, что «при относительной влажности менее 60% начинает удаляться адсорбционно связанная вода,... При относительной влажности менее 45% удаляется... межплоскостная вода, что сопровождается значительной усадкой» [6]. Напротив, по данным Рекомендаций НИИЖБ и EN 1992-1-1 фиксируется уменьшение интенсивности роста усадки при относительной влажности воздуха менее 60%.



### **Выводы.**

1. Установлена зависимость относительной влажности цементного камня  $\varphi_{ЦК}$  от относительной влажности воздуха  $\varphi_{В}$ :  $\varphi_{ЦК} = -0,042 \cdot \varphi_{В}^2 + 6,17 \cdot \varphi_{В} - 145 \cdot \frac{В}{Ц} - 96$ , на основании которой выявлена закономерность изменения усадки цементного камня от величины В/Ц и влажности воздуха и усадки бетона в зависимости от его класса и влажности воздуха.
2. Сопоставление закономерности изменения усадки бетона в зависимости от его класса и влажности воздуха с нормируемыми EN 1992-1-1 и Рекомендациями НИИЖБ значениями выявило как количественное, так и качественное различие.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цементы, бетоны, строительные растворы и сухие смеси [Текст] Ч.1: Справ. Под ред. П.Г. Комохова. – С.-Пб.: НПО «Профессионал», 2007. – 804 с.
2. Несветаев, Г.В. Бетоны [Текст]: учебное пособие для вузов. – изд. 2-е, доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2013. – 381 с.: ил.
3. Несветаев Г.В., Усадочные деформации и раннее трещинообразование бетона / Г.В. Несветаев, С.А. Тимонов // Современные проблемы строительного материаловедения/ Пятые академические чтения. - Воронеж: ВГАСА, 1999. – С. 312-316.
4. Несветаев, Г.В., Самоуплотняющиеся бетоны: усадка / Г.В. Несветаев, А.Н. Давидюк // Строительные материалы. – 2009. - №8. – С. 52 – 53.
5. Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций [Текст] / Под ред. С.В. Александровского. – М.: Стройиздат, 1976. – 351 с.
6. Шейкин А.Е., Структура и свойства цементных бетонов [Текст] / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. – М.: Стройиздат, 1979. – 343 с.
7. Цилюсани З.Н. Усадка и ползучесть бетона [Текст]. – Тбилиси: Мецниереба, 1979. – 229 с.
8. Несветаев Г.В., О прогнозировании усадки цементных бетонов / Г.В. Несветаев, С.А. Тимонов // Современные проблемы строительного материаловедения: Пятые академические чтения. - Воронеж: ВГАСА, 1999. – С. 305-311.
9. Несветаев Г.В., Оценка эффективности суперпластификаторов применительно к отечественным цементам / Г.В. Несветаев, А.В. Налимова // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Материалы 2-й межд. конф. – Ростов-на-Дону, 2002. – С. 269 – 274.
10. Рекомендации по учету ползучести и усадки бетона (НИИЖБ). - М.: Стройиздат, 1988.

**Рецензент:** Маилян Дмитрий Рафаэлович, заведующий кафедрой «Железобетонных и каменных конструкций», доктор технических наук, ФГБОУ ВПО «Ростовский государственный строительный университет».

**Nesvetaev Grigory Vasilievich**  
Rostov State University of Civil Engineering  
Russia, Rostov-on-Don  
E-mail: nesgrin@yandex.ru

**Shcherbinina Tatyana Andreevna**  
Rostov State University of Civil Engineering  
Russia, Rostov-on-Don  
E-mail: kireeva-2006@yandex.ru

## About regulation of drying shrinkage of cement concrete

**Abstract.** Since the shrinkage of cement concrete negative impact on the durability of concrete structures, a key challenge is to determine the magnitude of the shrinkage of the concrete, depending on the material properties of the medium parameters and geometry of the structure. In this paper, the task of determining the dependence of the "value of  $W / C$  ratio - humidity of cement stone under hygrometric equilibrium conditions" and "relative humidity of air - shrinkage of the concrete". The dependence between the relative humidity of the cement stone and the relative humidity of the air is determined and the appropriate equation is suggested. Confirmed linear relationship between drying shrinkage in air, complete drying shrinkage and the  $W / C$  ratio. The dependence between the relative shrinkage of cement matrix and the relative humidity of air is determined and suggested that the change in value of shrinkage concretes made from various cements can have some quantitative differences for the same or similar high-quality picture. It is showing the difference in the patterns of change in the shrinkage of the concrete with a decrease in relative humidity set in operation and normalized values in EN 1992-1-1 and Recommendations of Concrete Research Institute (NIIZhB).

**Keywords:** concrete; cement stone; shrinkage; deformation; relative humidity; drying shrinkage; pore structure; relationship; regulation.

## REFERENCES

1. Cement, concrete, mortar and dry mixes [text] Part 1: Right. Ed. PG Komohova. - S.-Pb.: NGO "Professional", 2007. - 804 p.
2. Nesvetaev, G.V., Concrete [Text]: a manual for schools. - Ed. 2nd, ext. and rev. - Rostov n / D: Phoenix, 2013. - 381 p.: ill.
3. Nesvetaev G.V., Shrinkage and cracking of concrete during early stage/ G.V. Nesvetaev, S.A. Timonov // Modern problems of building materials / Fifth academic reading. - Voronezh: VGASA, 1999. - S. 312-316.
4. Nesvetaev, G.V., Self-compacting concrete: shrinkage / G.V. Nesvetaev, A.N. Davidyuk // Building materials. - 2009. - №8. - S. 52 - 53.
5. Creep and shrinkage of concrete and reinforced concrete structures [Text] / Ed. S.V. Alexandrovsky. - M.: Stroyizdat 1976 - 351c.
6. Sheikin A.E., structure and properties of cement concrete [Text] / A.E. Sheikin, Y.V. Chekhovsky, M.I. Brusser. - M.: Stroyizdat, 1979. - 343 p.
7. Tsilosani Z.N., Shrinkage and creep of concrete [Text]. - Tbilisi: Metsniereba, 1979. - 229 p.
8. Nesvetaev G.V., About predicting shrinkage of cement concrete / G.V. Nesvetaev, S.A. Timonov // Modern problems of building materials: Fifth academic reading. - Voronezh: VGASA, 1999. - P. 305-311.
9. Nesvetaev G.V., Evaluation of superplasticizers in relation to the domestic cement / G.V. Nesvetaev, A.V. Nalimova // Concrete and reinforced in the third millennium: Proceedings of the 2nd Int. Conf. - Rostov-on-Don, 2002. - p. 269 – 274.
10. Recommendations for the accounting of creep and shrinkage of concrete (NIIZhB). - M.: Stroyizdat 1988.