

## Деформации усадки бетона, модифицированного химическими и тонкодисперсными минеральными наполнителями<sup>1</sup>

Аспирант, младший научный сотрудник Д.С. Котов\*,  
РУП «Институт БелНИИС»

Необходимость прогнозирования величины усадки бетона и железобетонных конструкций в последнее время приобретает все большее значение в связи с интенсивным развитием строительства зданий и сооружений из монолитных и сборно-монолитных железобетонных конструкций на основе бетонных смесей, модифицированных химическими модификаторами и тонкодисперсными минеральными наполнителями. Данная проблема рассматривалась многими исследователями, в том числе в работах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10]. Как показывают многолетние наблюдения за состоянием эксплуатирующихся конструкций, практически в любой монолитной железобетонной конструкции могут быть обнаружены трещины различных размеров, приводящие к снижению их долговечности [1]. В этой связи исследователи многих стран мира продолжают изучать влияние различных факторов на величину усадки бетона и железобетона и разрабатывать уточненные методики расчета их значений на стадии проектирования конструктивных систем зданий и сооружений.

Представленные в настоящей статье результаты исследований явились основой для уточнения нормативных значений усадки бетона, модифицированного химическими добавками и тонкодисперсными минеральными наполнителями, а также для совершенствования методик проектирования состава бетона с учетом прогнозируемых значений деформаций усадки.

Исследования выполнялись по заданию Минстройархитектуры Белоруссии по теме: «Провести исследования влияния содержания в бетоне арматуры, пластифицирующих, расширяющих и минеральных тонкодисперсных добавок на его физико-механические свойства, в том числе на собственные деформации, и разработать дополнение к СНБ 5.03.01-02 в части определения деформаций усадки и потерь предварительного напряжения в арматуре с рекомендациями с целью массового применения бетонов и растворов с компенсированной усадкой» (рег. № 20053269).

### Предпосылки по уточнению методики расчета деформаций усадки

Анализ методов оценки деформаций усадки цементного камня и железобетона представлен в работах [2, 4, 9, 10, 11, 12, 13]. Из этого анализа можно сделать вывод о том, что пока нет единства во взглядах и в методах расчета усадки бетона и железобетона, причем как на стадии расчета железобетонных конструкций, так и на стадии проектирования состава бетона с заданными значениями усадки. В работах [9, 10] предложена методика расчета усадки бетона и железобетонных конструкций на основе учета структурно-технологических и физико-химических факторов, которая может быть использована при подборе состава бетона с заданными значениями усадки. В них показано, что деформации усадки бетона обуславливаются множеством факторов конструктивного и технологического характера. Однако предложенная методика требует наличия сведений о физико-химических свойствах цемента и использования сложной компьютерной техники. Для использования ее на стадии проектирования конструкций необходимы дополнительные упрощения с целью разработки инженерной методики. Данное допущение может иметь место и в связи с тем, что цементы, производимые в Республике Беларусь, имеют сходный минералогический состав. Как отмечается в [14], расчетная методика должна быть уточнена в связи с применением химических модификаторов и (или) тонкодисперсных минеральных наполнителей в бетонной смеси, что может в значительной степени изменять физико-механические характеристики бетона, такие как степень гидратации цемента, сроки схватывания, прочность в раннем возрасте и т.д., а, соответственно, и деформации усадки.

В EN 1992 – 2 – 1 [15] и, соответственно, в СНБ 5.03.01 – 02 [16] представлена инженерная методика расчета усадки бетона  $\varepsilon_{cs}$ , в которой ее величина рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_{cs} = \varepsilon_{cs,d} + \varepsilon_{cs,a}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{cs,d}$  – часть усадки бетона, обусловленная испарением из него влаги;

$\varepsilon_{cs,a}$  – часть усадки бетона, обусловленная процессами твердения бетона.

Величина усадки бетона  $\varepsilon_{cs,d}$  определяется по формуле:

$$\varepsilon_{cs,d} = \beta_{ds} \cdot \varepsilon_{cs,d,\infty}, \quad (2)$$

<sup>1</sup> Исследования выполнены совместно с Н.С.Протьюко под руководством д.т.н., профессора Н.П. Блещика

где  $\varepsilon_{cs,d,\infty}$  – предельные значения части усадки, которые допускается определять по таблице 6.3 [16];

$\beta_{ds}$  – функция развития усадки бетона во времени, определяемая по формуле:

$$\beta_{ds} = \left[ \frac{(t-t_s)/t_1}{350(h_0/h_1)^2 + (t-t_s)/t_1} \right]^{0,5}, \quad (3)$$

где  $t$  – возраст бетона, для которого рассчитывается величина части усадки, сут.;

$t_s$  – возраст бетона к моменту окончания влажного хранения бетона, сут.;

$$h_0 = \frac{2A_c}{u};$$

$A_c, u$  – соответственно, площадь и периметр поперечного сечения элемента, мм;

$$h_1 = 100 \text{ мм};$$

$$t_1 = 1 \text{ сут.}$$

Предельные значения части усадки бетона  $\varepsilon_{cs,d,\infty}$ , приведенные в таблице 6.3 [16], применимы для бетонных смесей с марками по удобоукладываемости П2 и П3. Для бетонных смесей, имеющих другие марки по удобоукладываемости, значения  $\varepsilon_{cs,d,\infty}$ , принятые по таблице 6.3 [16], следует умножать на поправочные коэффициенты, равные:

- при П1, СЖ1-СЖ3, Ж1-Ж4 – 0,70;
- при П4, П5 – 1,20.

При определении промежуточных значений части усадки бетона  $\varepsilon_{cs,d,\infty}$  по таблице 6.3 [16] допускается линейная интерполяция.

Величину части усадки бетона  $\varepsilon_{cs,a}$  следует определять по формуле:

$$\varepsilon_{cs,a} = \beta_{as} \cdot \varepsilon_{cs,a,\infty}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon_{cs,a,\infty} = -2,5 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} \leq 0$ ; (5)

$$\beta_{as} = 1 - \exp(-0,2 t^{0,5}); \quad (6)$$

$t$  – время, сут.

Из приведенных формул и таблиц следует, что основными факторами, обуславливающими величину усадки бетона, являются: класс бетона по прочности на сжатие, относительная влажность окружающей среды, геометрические размеры конструкций, а удобоукладываемость бетонной смеси учитывается грубо, в зависимости от жесткости или осадки стандартного конуса.

Методика, предложенная в DIN EN 1992-1-1 [17], по сути, аналогична [15] и [16] с видоизменением функции  $\beta_{ds}$ , определяемой как:

$$\beta_{ds} = \frac{(t-t_s)}{0,04 \cdot \sqrt{h_0^3 + (t-t_s)}}, \quad (7)$$

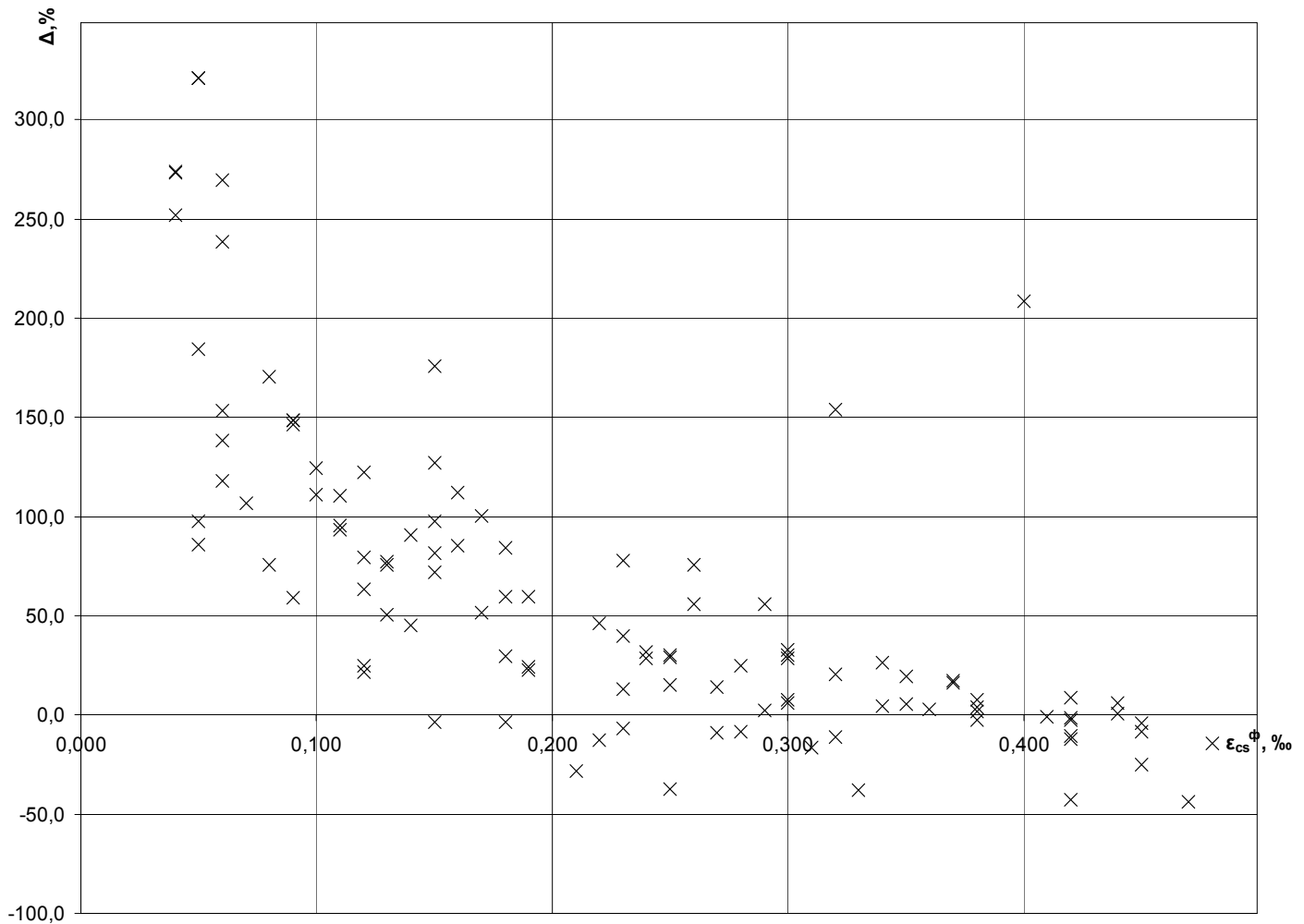
где все входящие величины приняты в соответствии с (3).

Отклонения расчетных значений, рассчитанных согласно методике [16], от фактических экспериментальных данных, приведенных далее, представлены на рис. 1. Как видно из рисунка, разброс составляет от плюс 300% до минус 50%, что не может считаться удовлетворительным.

При этом не учитываются такие важные факторы, как вид цемента (его минералогический состав и удельная поверхность, обуславливающие кинетику набора прочности бетона); наличие химических модификаторов и тонкодисперсного минерального наполнителя; влияние литых и самоуплотняющихся бетонных смесей, удобоукладываемость которых определяется распылом стандартного конуса.

Возможность учета указанных факторов при расчете усадки бетона на стадии проектирования конструкций может быть реализована путем уточнения коэффициентов  $\alpha_{ds,1}$  и  $\alpha_{ds,2}$  Приложения Б [16], входящих в зависимости, определяющие предельные значения части усадки бетона  $\varepsilon_{cs,d,\infty}$ . При этом

зависимости (4)–(6), определяющие незначительную величину части усадки бетона  $\varepsilon_{cs,d}$ , могут быть оставлены в прежнем виде.



**Рисунок 1. Отклонения расчетных значений усадки бетона от опытных данных**

Значения коэффициентов  $\alpha_{ds,1}$  и  $\alpha_{ds,2}$  могут быть получены на основе результатов экспериментальных исследований и зависимостей (Б.11 – Б.14) Приложения Б [16]:

$$\varepsilon_{cs,d,\infty} = \left[ (220 + 110\alpha_{ds,1}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds,2} \frac{f_{cm}}{f_{cm,o}}\right) \right] \cdot 10^6 \cdot \beta_{RH}, \quad (\text{Б.11})$$

где  $f_{cm}$  – средняя прочность бетона в возрасте 28 суток, МПа;

$$f_{cm,o} = 10 \text{ МПа};$$

$\alpha_{ds,1}, \alpha_{ds,2}$  – коэффициенты, учитывающие вид цемента и принимаемые по таблице Б.1;

$$\beta_{RH} = -1,55 \cdot \left[ 1 - \left( \frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] \text{ при } RH < 99 \% \beta_{sl}; \quad (\text{Б.12})$$

$$\beta_{RH} = 0,25 \text{ при } RH \geq 99 \% \beta_{sl}; \quad (\text{Б.13})$$

$$\beta_{sl} = \left( \frac{3,5 f_{cm,o}}{f_{cm}} \right)^{0,1}; \quad (\text{Б.14})$$

$$RH_0 = 100 \text{ \%}.$$

$$\alpha_{ds.1} = \left[ \frac{\varepsilon_{cs.d.\infty} \cdot 10^6}{\beta_{RH} \exp\left(-\alpha_{ds.2} \frac{f_{cm}}{f_{cm.o}}\right)} - 220 \right] \cdot \frac{1}{110}. \quad (8)$$

**Таблица Б.1. Значения коэффициентов  $\alpha_{ds.1}$ ,  $\alpha_{ds.2}$**

Вид цемента	$\alpha_{ds.1}$	$\alpha_{ds.2}$
Медленно твердеющий	3,0	0,13
Нормально и быстротвердеющий	4,0	0,11
Быстротвердеющий высокопрочный	6,0	0,12

Значение  $\alpha_{ds.2}$  изменяется в соответствии с данными таблицы Б.1 в незначительных пределах (от 0,11 до 0,13) и может быть принято равным средней величине 0,12.

В соответствии с зависимостями (1) и (2) значение  $\varepsilon_{cs.d.\infty}$  должно вычисляться по формуле:

$$\varepsilon_{cs.d.\infty} = \frac{\varepsilon_{cs}^{on} - \varepsilon_{cs.a}}{\beta_{ds} \cdot k}, \quad (9)$$

где  $\varepsilon_{cs}^{on}$  – опытное значение относительных деформаций усадки бетона в возрасте 28 сут;

$\varepsilon_{cs.a}$  – значение части усадки бетона, вычисляемое по формулам (4)–(6) при  $t = 28$  суток и  $f_{ck}$ , определяемом по формуле:

$$f_{ck} = f_{c.cube}^{on} \cdot 0,8; \quad (10)$$

$\beta_{ds}$  – функция, вычисляемая по зависимости (3) при  $t = 28$  сут;

$k$  – значение коэффициента, применяемого в зависимости от удобоукладываемости опытной бетонной смеси. Для литых и самоуплотняющихся смесей значения  $k$  при предварительных расчетах следует принимать равным 1,2.

### Характеристика материалов и методика экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились с использованием следующих материалов:

- цемент ПЦ 500-Д0 производства ОАО «Красносельскстройматериалы»,  $K_{нз}=0,27$ ;
- пластификаторы: суперпластификатор СМ-1 (ТУ ВУ100138369.466-2006), гиперпластификаторы ГП-1 (ТУ ВУ 100230600.447-2006), Stachement 2000-М Ж30 (St-2000) (ТУ ВУ 800013176.545-2007);
- минеральная добавка – тонкодисперсный доломит, выпускаемый ОАО «Доломит» по ГОСТ 16557-78 «Минеральный порошок для асфальтобетонных смесей. Технические условия»,  $S_{yd.o}=50, 200$  и  $450 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;
- мелкий заполнитель – песок карьера «Волма» Минского района с  $M_{кр}=2,69$ ,  $S_{yd} = 8,1 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;
- крупный заполнитель – гранитный щебень ПРУП «Гранит» с межзерновой пустотностью ( $m_{н.кр}$ ) 0,37, удельной поверхностью  $S_{yd.кр} = 0,365 \text{ м}^2/\text{кг}$ ;
- питьевая вода, соответствующая требованиям СТБ 1114.

Для нахождения значений  $\alpha_{ds.1}$  были проведены экспериментальные исследования деформаций усадки бетона, модифицированного различными химическими добавками, и содержащего минеральные тонкодисперсные наполнители. Выдерживание бетона производилось в средах минимум с двумя значениями относительной влажности. Удобоукладываемость бетонной смеси варьировалась в широких пределах – от жесткости до расплыва конуса. Варьировалась и средняя прочность бетона (класс бетона по прочности на сжатие).

Водовязущее отношение варьировалось в пределах 0,32–0,55.

Содержание тонкодисперсного наполнителя принималось в количестве 20–40% от общей массы цемента и наполнителя.

Относительное содержание и вид пластификаторов принимались следующими: 0,2–0,4% для ГП-1; 0,6-1% для СМ-1 и 0,17–0,23% для St-2000 от массы вяжущего (цемент + наполнитель), в расчете на сухое вещество.

При определении усадки бетона использовались образцы-призмы с размерами 70×70×225мм.

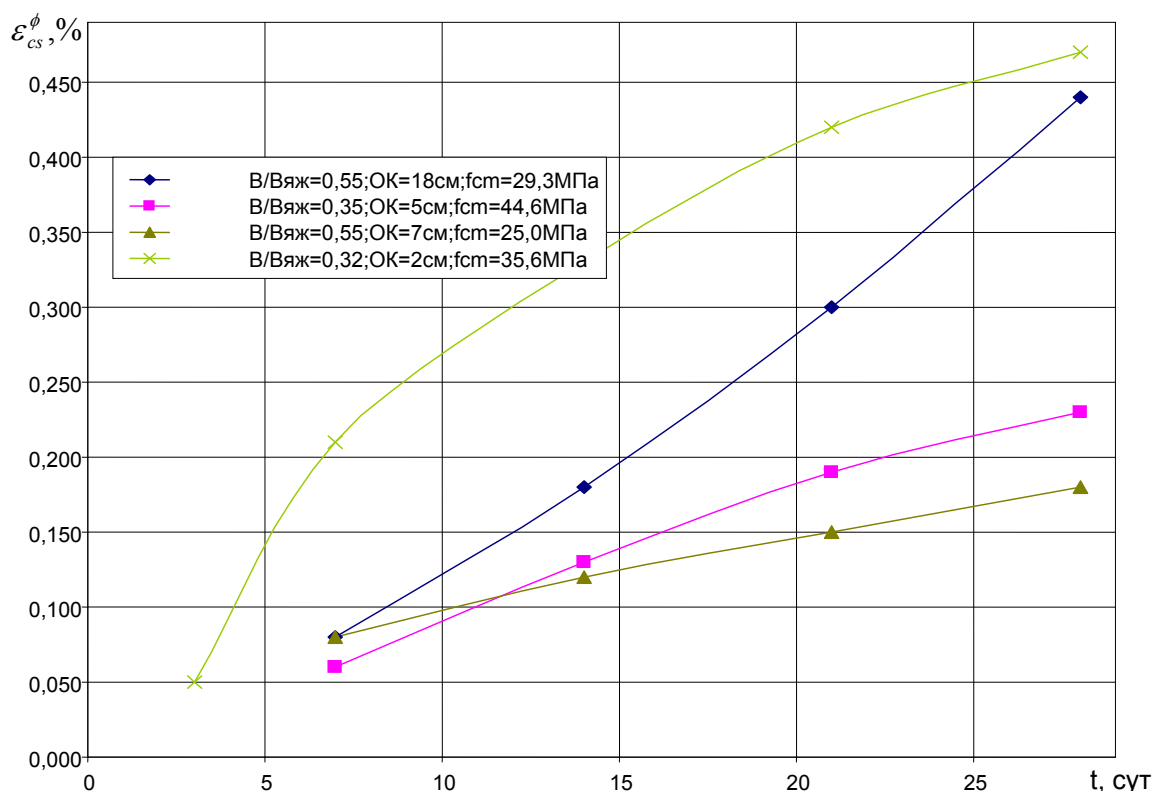
Образцы-призмы изготавливались в одногнездовых металлических формах. Уплотнение бетонных смесей в формах осуществлялось в зависимости от их подвижности. Заформованные образцы до распалубки выдерживались 1 сутки в формах при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ . После распалубки, но не позднее 2 часов со времени распалубки, образцы устанавливались в камеру нормально-влажностного твердения с температурой  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  и влажностью  $90 \pm 5\%$ , и камеру с температурой  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  и влажностью, соответствующей экспериментальной ( $40 \pm 5\%$ ,  $60 \pm 5\%$  и  $75 \pm 5\%$ ).

Определение изменений линейных деформаций образцов осуществлялось с помощью индикаторной стойки, состоящей из стойки для крепления индикатора и индикатора часового типа с ценой деления  $1 \times 10^{-3}$  мм. За базу измерений принимался стальной эталон длиной 225 мм.

Каждая серия образцов, на которых производился контроль усадки в возрасте 2, 3, 7, 14 и 28 суток, содержала по 2 образца-призмы для каждого из 2 условий.

### Результаты исследований

Полученные значения деформации усадки бетонов экспериментальных составов представлены на рисунках 2–5.



**Рисунок 2. Опытные значения деформации усадки экспериментальных составов без химических модификаторов выдерживаемых при RH=60 и 75%**

Предварительно в качестве среднего может быть принято значение  $\alpha_{ds,1}$ , представленное в таблице Б.1 [16] для нормально- и быстротвердеющего цемента, равное 4. Это значение изменяется в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси, применяемых тонкодисперсных наполнителей и вида химических добавок в широких пределах (от 2 до 7).

Анализ полученных данных показал, что коэффициент  $\alpha_{ds.1}$  увеличивается при увеличении показателей удобоукладываемости бетонной смеси и уменьшается при увеличении содержания тонкодисперсных наполнителей и введении в состав бетона химических добавок. Причем наибольшее снижение коэффициента  $\alpha_{ds.1}$  достигается при введении гиперспластификаторов.

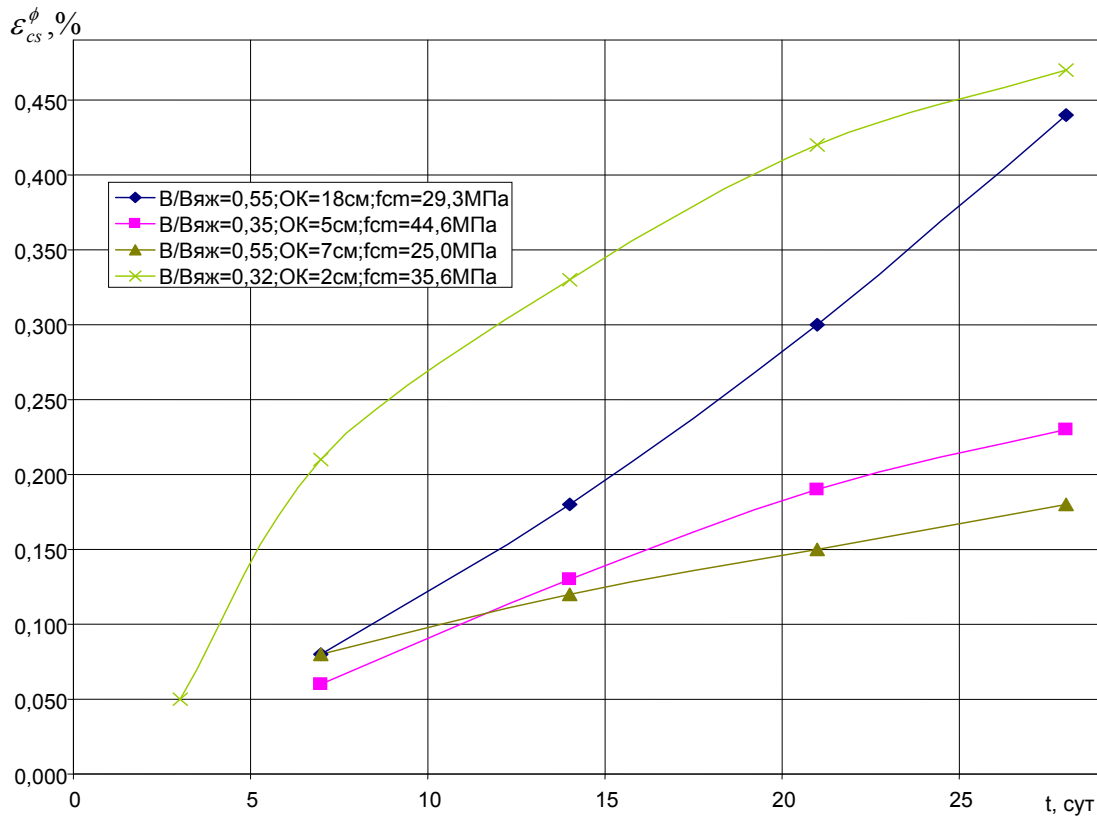


Рисунок 3. Опытные значения деформации усадки экспериментальных составов модифицированных добавками С-3 или СМ-1 выдерживаемых при RH=60 и 75%

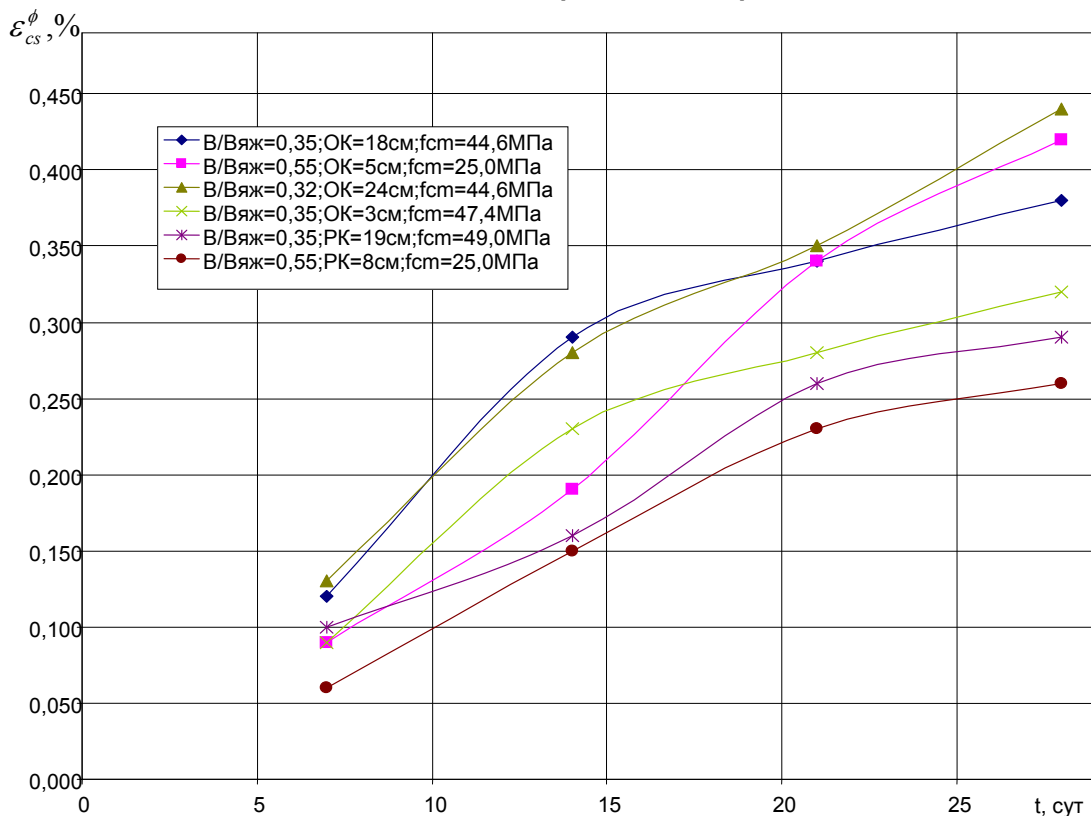


Рисунок 4. Опытные значения деформации усадки экспериментальных составов модифицированных добавками ГП-1 или St-2000 выдерживаемых при RH=60 и 75%

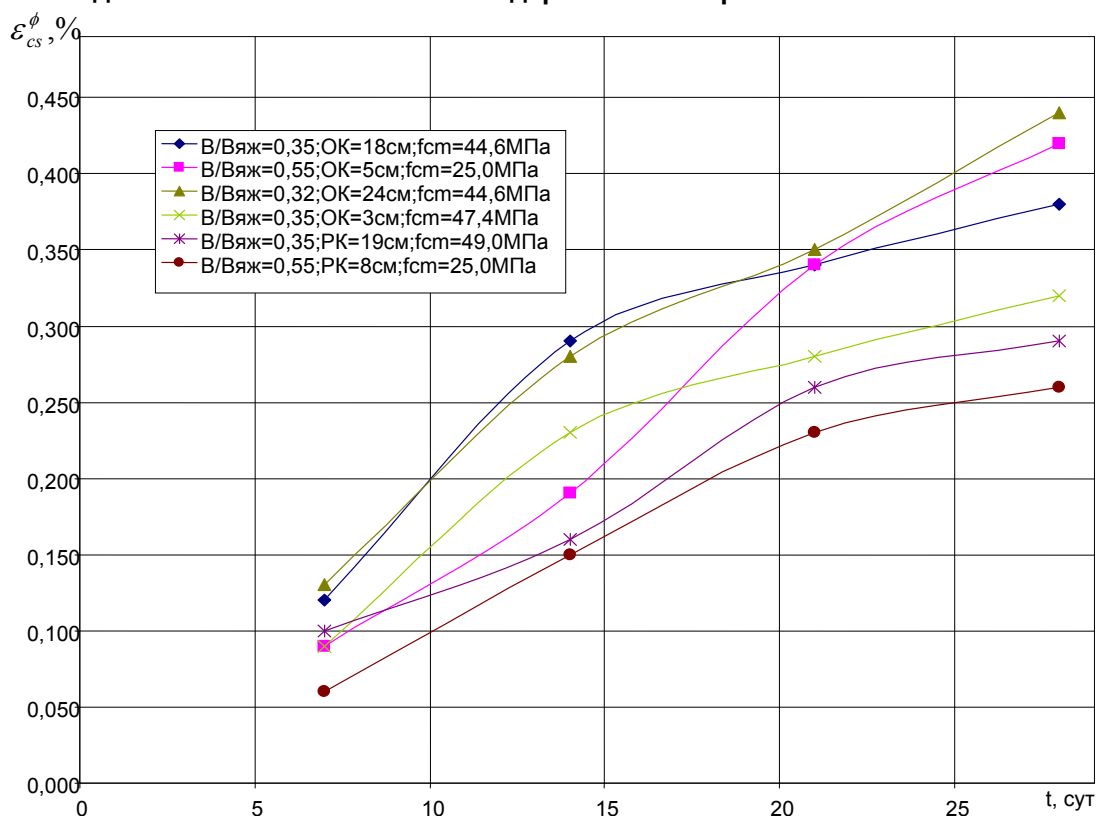


Рисунок 5. Опытные значения деформации усадки экспериментальных составов модифицированных различными добавками выдерживаемых при RH=40%

В результате математико-статистической обработки экспериментальных данных предложено принять следующий вид функции  $\varepsilon_{cs,d}$ :

$$\varepsilon_{cs,d} = k \cdot \beta_{ds} \cdot \varepsilon_{cs,d,\infty}, \quad (11)$$

а функция  $\varepsilon_{cs,d,\infty}$  должна быть записана в виде:

$$\varepsilon_{cs,d,\infty} = \left[ (220 + 110\alpha_{ds,1.M}) \cdot \exp\left(-\alpha_{ds,2} \frac{f_{cm}}{f_{cm,o}}\right) \right] \cdot 10^6 \cdot \beta_{RH}, \quad (12)$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий влияние марок по удобоукладываемости бетонной смеси, представленный в таблице 1;

$\beta_{ds}$  – функция развития усадки бетона во времени, определяемая по формуле (3);

$\alpha_{ds,1.M}$  – коэффициент для бетонов, модифицированных химическими добавками, – должен определяться путем умножения коэффициента  $\alpha_{ds,1}$  на коэффициент  $k_M$ , который следует принимать равным значениям, представленным в таблице 2. Значения коэффициента  $\alpha_{ds,1}$  в зависимости от вида цемента следует принимать по данным таблицы 3.

Таблица 1. Значения коэффициента «k»

Марки по удобоукладываемости бетонной смеси	Коэффициент k
СЖ1, СЖ2, СЖ3, Ж2, Ж3, Ж4	0,7
Ж1, П1, П2	0,8
П3	1
П4, П5, РК-1, РК-2	1,2
РК-3, РК-4, РК-5 (SF-1), РК-6 (SF-2), РК-6 (SF-3)	1,3

Таблица 2. Значения коэффициента  $k_M$

Вид химических модификаторов	Коэффициент $k_M$
Пластифицирующие добавки второй и третьей групп по СТБ 1112	0,90
Пластифицирующие добавки первой группы по СТБ 1112	0,85
Гиперпластификаторы (ГП – 1, St – 2000 и др.)	0,75
Ускорители твердения	1,1

Таблица 3. Значения коэффициента  $\alpha_{ds.1}$

Вид цемента	Коэффициент $\alpha_{ds.1}$
Быстротвердеющий портландцемент и ПЦ 550 – Д0 (по ГОСТ 10178)	5,0
Нормальнотвердеющий портландцемент: ПЦ 500 – Д0 (по ГОСТ 10178); ЦЕМ –I класса по прочности на сжатие 42,5 (по ГОСТ 31108)	4,0
Нормальнотвердеющий портландцемент: ПЦ 500 – Д20 (по ГОСТ 10178); ЦЕМ –II класса по прочности на сжатие 42,5 (по ГОСТ 31108)	3,5
Нормальнотвердеющий портландцемент: ПЦ 400 – Д20, шлакопортландцемент, (по ГОСТ 10178); ЦЕМ –II класса по прочности на сжатие 32,5, ЦЕМ –III (по ГОСТ 31108)	3,0

В соответствии с полученными значениями коэффициентов  $\alpha_{ds.1}$ ,  $k_M$  и  $k$  были рассчитаны новые значения деформации усадки бетона, которые в сопоставлении с фактическими значениями деформаций усадки представлены на рис. 6.

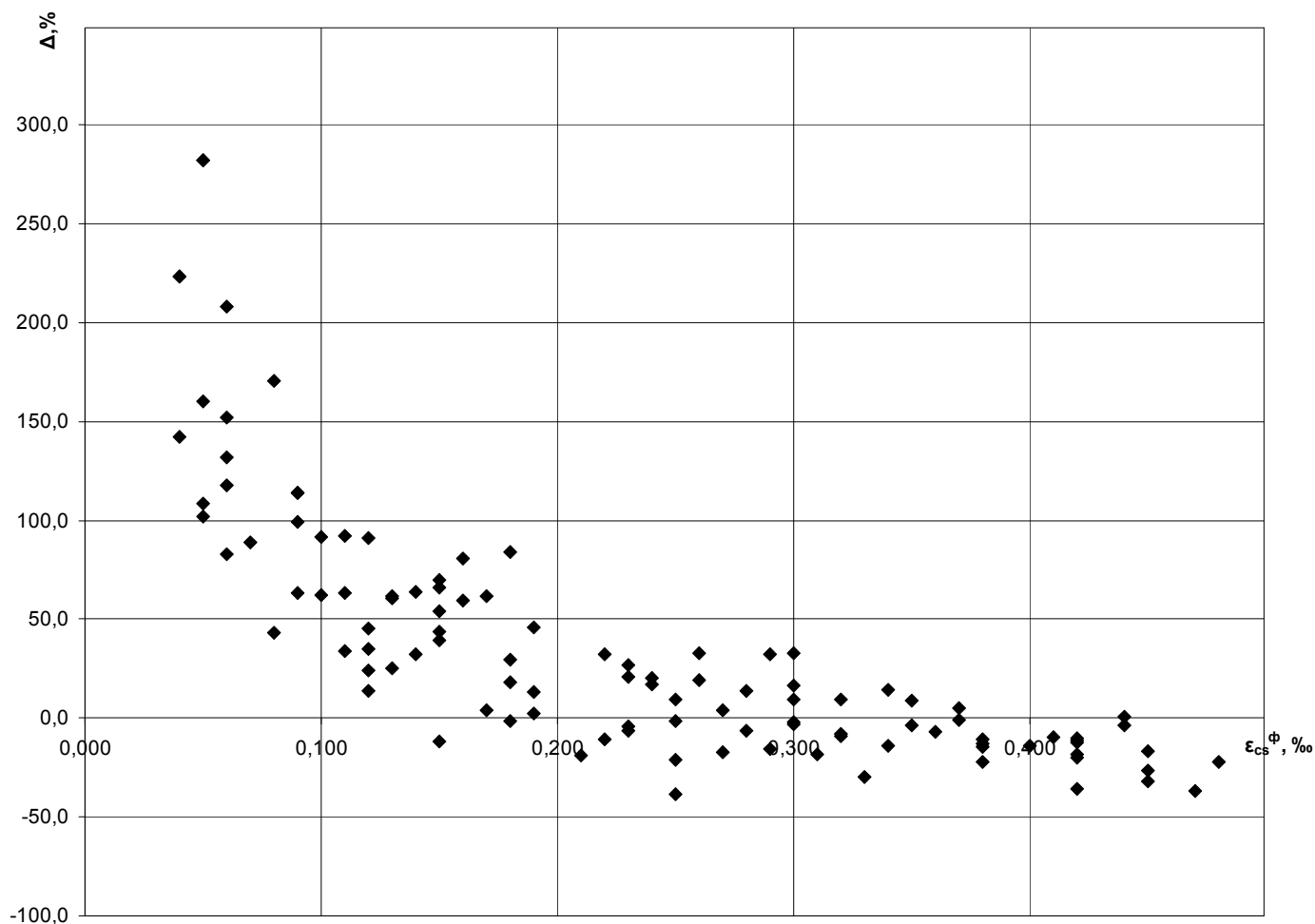


Рисунок 6. Отклонения расчетных значений усадки бетона от опытных данных

Котов Д.С. Деформации усадки бетона, модифицированного химическими и тонкодисперсными минеральными наполнителями



Представленные данные показывают удовлетворительные отклонения для образцов в возрасте 28 суток (в пределах  $\pm 30\%$ ). Однако отклонения в более раннем возрасте (2-21-е сутки) составили от плюс 250% до минус 40%, что не может считаться удовлетворительным.

Очевидно, что возможность снижения разброса отклонений деформаций усадки в раннем возрасте связана с необходимостью уточнения функции  $\beta_{ds}$ , описывающей развитие усадки во времени.

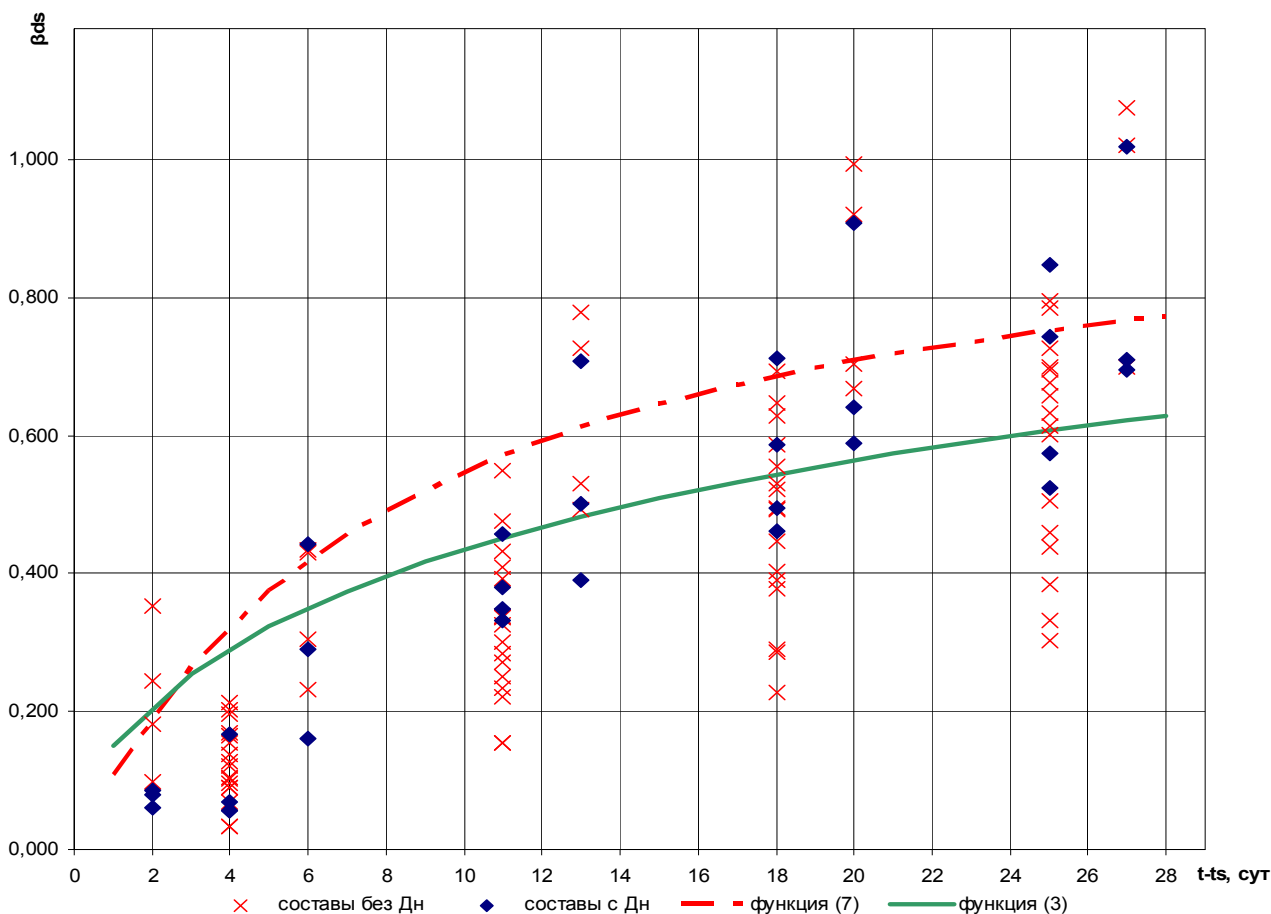


Рисунок 7. Соотношения опытных значений функции  $\beta_{ds}$  по (13) и значений по (3) и (7)

На рис. 7 представлены значения  $\beta_{ds,i}$  для опытных значений деформаций усадки, рассчитанных согласно (13).

$$\beta_{ds,i}^{\tilde{i}} = \frac{\varepsilon_{cs,i}^{\tilde{i}} - \varepsilon_{cs,a,i}}{k_i \cdot \varepsilon_{cs,d,\infty,i}}, \quad (13)$$

где  $\varepsilon_{cs,i}^{\tilde{i}}$  — опытное значение относительных деформаций усадки бетона в различном возрасте;

$\varepsilon_{cs,a,i}$  — часть усадки бетона, обусловленная процессами твердения бетона, вычисляемая по формулам (4)–(6);

$\varepsilon_{cs,d,\infty,i}$  — предельные значения части усадки, определяемые по (12);

$k$  — коэффициент, учитывающий влияние марок по удобоукладываемости бетонной смеси, представленный в таблице 1.

В результате математико-статистической обработки экспериментальных данных предложено принять следующий вид функции  $\beta_{ds}$  для составов бетона без тонкодисперсного минерального наполнителя:

$$\beta_{ds} = \left[ \frac{(t-t_s)}{0,04 \cdot \sqrt{h_0^3} + (t-t_s)} \right]^{1.8}, \quad (14)$$

где все входящие величины приняты в соответствии с (3).

В случае применения тонкомолотого минерального наполнителя, в количестве от 10 до 30% от массы вяжущего, значение функции  $\beta_{ds}$  следует определять путем умножения значения  $\beta_{ds}$ , полученного по формуле (14), на коэффициент  $K_{дн} = 1,1$ .

С учетом (11), (12) и (14) был произведен перерасчет новых значений деформаций усадки для всех экспериментальных составов. Отклонения расчетных величин от опытных представлены на рис. 8.

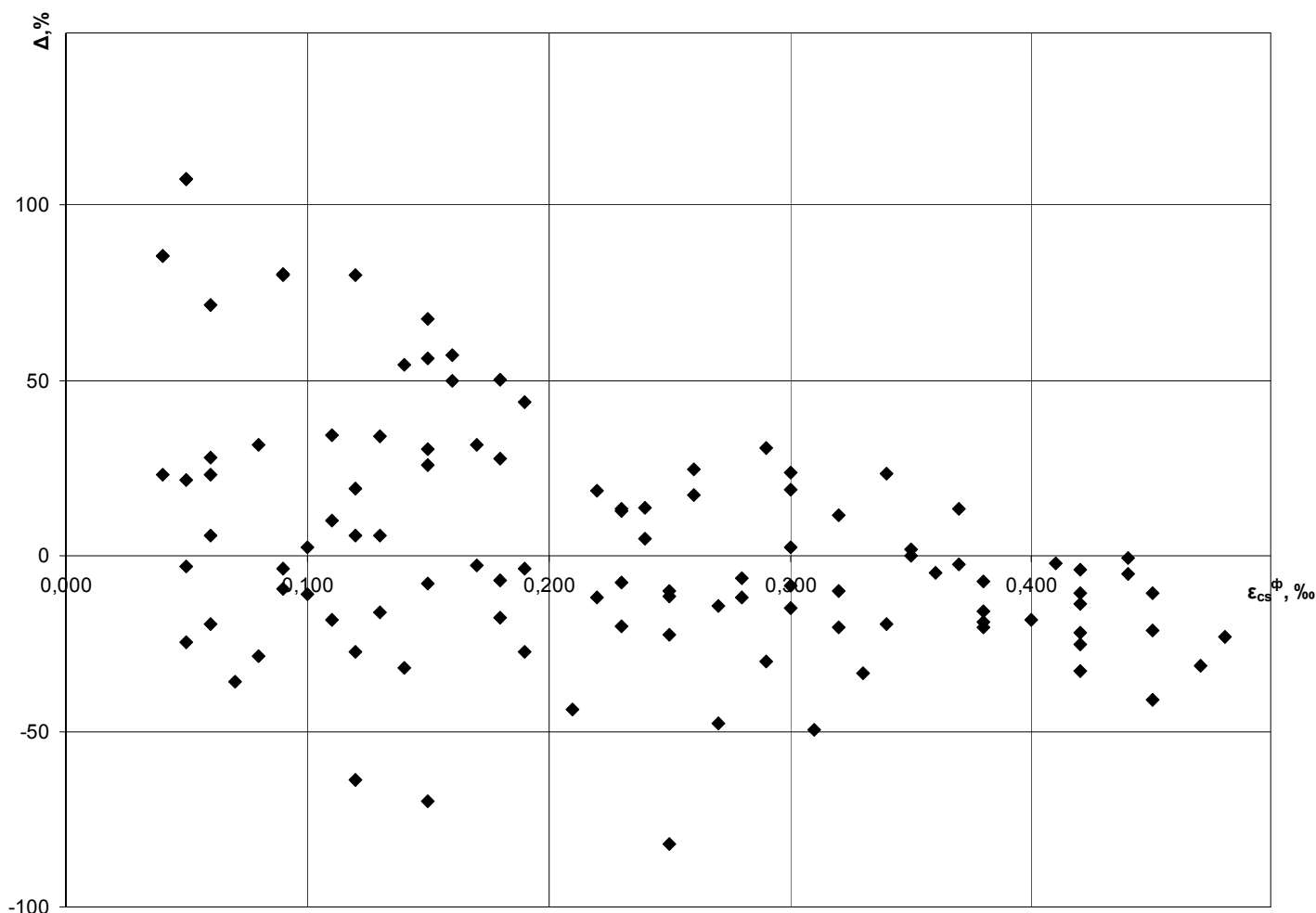


Рисунок 8. Отклонения расчетных значений усадки бетона от опытных данных

### Выводы

1. Представлены результаты комплекса экспериментально-теоретических исследований, позволивших установить основные закономерности усадки бетона, модифицированного химическими модификаторами и тонкодисперсным наполнителем.
2. Результаты экспериментальных исследований усадки бетона в возрасте 28-ми суток, модифицированного химическими модификаторами и тонкодисперсным минеральным наполнителем, позволили установить, что она зависит от минералогического состава цемента, его плотности и удельной поверхности, начального водовяжущего отношения, вида и содержания пластификатора и тонкомолотого минерального наполнителя.
3. Математическая модель усадки бетона представлена в виде уточненной модели, предложенной в [16] и [17], скорректированной в области определения части усадочных деформаций, обусловленных испарением влаги при твердении бетона. Статистические характеристики адекватности расчетных и фактических значений усадки бетона свидетельствуют об их удовлетворительной сходимости и о возможности применения полученных коэффициентов при прогнозировании усадки бетонов, модифицированных химическими и тонкомолотыми минеральными наполнителями.

4. Результаты экспериментально-теоретических исследований могут быть также использованы при дальнейшем развитии основных положений технологии модифицированного бетона, являющегося наиболее перспективным для современных конструктивных систем зданий и сооружений, и назначения более достоверных нормативных значений усадки бетона.

### Литература

1. Тур В.В. Экспериментально-теоретические основы предварительного на-пряжения конструкций при применении напрягающего бетона. Брест, 1998.
2. Цилосани З.Н. Усадка и ползучесть бетона. Тбилиси, 1963.
3. Александровский С.В. Расчет бетонных и железобетонных конструкций на изменение температуры и влажности с учетом ползучести. М: 1973.
4. Берг О.Я. Высокопрочный бетон / О.Я. Берг, Е.Н. Щербаков, Г.Н. Писанко. М., 1971.
5. Десов А.Е. Некоторые вопросы теории усадки бетона // Ползучесть и усадка бетона и железобетонных конструкций. М., 1973.
6. Улицкий И.И. Определение величин деформаций ползучести и усадки бетонов. Киев, 1963.
7. Voellmy A. Influence du temps sur la deformation du beton // Rizem Bulletin, №9, 1960.
8. Leviant i Einfluss der Betonzusammen-setzung auf daz Swinder // Betonzustein-Zeitung, №30, 1964.
9. Блещик Н.П. К построению расчетной модели усадки цементного камня с позиций физико-химической механики дисперсных систем / Н.П. Блещик, А.Н.Рак, М.Н. Рыскин // Вестник БГТУ, Строительство и архитектура, Приложение – Материалы XI Международного научно – методического семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», часть 2. Брест, 2004. С. 81 – 93.
10. Блещик Н.П. Расчетные модели усадки бетонных и железобетонных конструкций / Н.П. Блещик, А.Н. Рак, М.Н. Рыскин // Вестник БГТУ, Строительство и архитектура, Приложение – Материалы XI Международного научно – методического семинара «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь», часть 2. Брест, 2004. С. 93 – 103.
11. Некрасов В.В. Изменение объема системы при твердении гидравлических вяжущих. ОТН, – 1945. – №6.
12. Холмянский М.М. Бетон и железобетон. Деформативность и прочность. М., 1997.
13. Шейкин А.Е. Структура и свойства цементных бетонов / А.Е. Шейкин, Ю.В. Чеховский, М.И. Бруссер. М., 1979.
14. Исследовать реологические, структурные, физико-механические и технологические свойства самоуплотняющихся бетонов, обеспечивающие увеличение производительности труда при укладке бетонной смеси, снижение удельных затрат энергии и стоимости отделочных работ. Разработать и внедрить комплект нормативно-технической документации. Этап 7.06.02. Исследовать физико-механические свойства самоуплотняющихся бетонов: отчет о НИР (промежуточный) / Бел НИИС; рук. Н.П. Блещик. №ГР 20053269. Минск, 2006.
15. EN 1992-2-1, Eurocodez «Desing of concrete structures. Part 1: General Rules and Rules for Building» – Commition of European Communities, Des 1991. P. 253.
16. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Строительные нормы Республики Беларусь. Бетонные и железобетонные конструкции: СНБ 5.03.01-02.-Введ. 01.07.2003.-Минск, 2002.
17. DIN EN 1992-1-1:2005-10, Eurocodez «Desing of concrete structures. Part 1: General Rules and Rules for Building» – Commition of European Communities, 2005. P. 248.

*\* Дмитрий Святославович Котов, г. Минск*

*Тел. раб.: 8(10-375-17) 267-10-01, эл. почта: info@belniis.by*