

6. Portaev D.V. Raschet i konstruirovaniye monolitnyh prednapryazhennykh konstruktsiy grazhdanskikh zdaniy [Calculation and construction of monolithic prestressed structures of civil buildings]. Moscow: Associaciya stroitel'nykh vuzov. 2011. 248 p.
7. ТКР EN 1992-1-1-2009. Yevrokod 2. Proyektirovaniye zhelezobetonnykh konstruktsiy. Chast' 1-1. Obshchiye pravila i pravila dlya zdaniy [TCH EN 1992-1-1-2009. Eurocode 2. Design of concrete structures. Part 1-1: General rules and rules for buildings]. Minsk: Ministerstvo arkhitektury i stroitel'stva Respubliki Belarus'. 2010. 191 p.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*BARKAYA Temur Raufovich* – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Constructions and Structures, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: btrs@list.ru

*SUBBOTIN Sergey Lvovich* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Structures and Constructions, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: sbtn@yandex.ru

*GAVRILENKO Alexey Vladimirovich* – Assistant of the Department of Structures and Constructions, Assistant of the Department of Constructions and Structures, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: GavrilenkoAV@tstu.tver.ru

*KAZIMIROV Sergei Igorevich* – Design Engineer, KB «Kalinin» LLC, 8, Novaya Zarya st., Tver, Russia. E-mail: kazimirow97@mail.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Barkaya T.R., Subbotin S.L., Gavrilenko A.V., Kazimirov S.I. Bending test of a metal-wood panel with flat galvanized sheet walls stiffened by wooden ribs // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 3 (15), pp. 5–11.

УДК 691.539.216

#### ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА ПОЛЗУЧЕСТЬ МЕЛКОЗЕРНИСТОГО КАРБОНАТНОГО БЕТОНА

*В.В. Белов, Т.Р. Баркая, П.В. Куляев*

*Тверской государственный технический университет (г. Тверь)*

© Белов В.В., Баркая Т.Р.,  
Куляев П.В., 2022

**Аннотация.** Указано, что мелкозернистые карбонатные бетоны – это достаточно востребованный в настоящее время материал, обладающий хорошими показателями по трещиностойкости, морозостойкости, критериям долговечности и надежности строительных материалов и конструкций. Рассмотрена актуальная задача поиска экономически и экологически оправданных способов повышения деформативных свойств

данного бетона. Отражены результаты исследования деформаций мелкозернистых карбонатных бетонов с комплексной добавкой, состоящей из тонкодисперсного известнякового наполнителя и суперпластификатора. Отмечено, что деформации подразделяются на условно-мгновенные, краткосрочные и длительные (ползучесть), в исследовании используется метод планирования экспериментов и специальное оборудование, электротензодатчики для измерения мгновенных деформаций и индикаторы часового типа для измерения деформаций ползучести. Показано, что комплексная добавка способствует снижению деформаций мелкозернистых карбонатных бетонов и ведет к повышению их долговечности за счет модификации структурообразования и интенсификации процесса гидратации.

**Ключевые слова:** мелкозернистые карбонатные бетоны, деформативные свойства, ползучесть, влияние, химические добавки.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-3-11-22**

### ВВЕДЕНИЕ

Важной задачей строительного производства является получение мелкозернистых карбонатных бетонов (МЗКБ) с улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. Эта задача обусловлена необходимостью разработки новых составов МЗКБ на разных уровнях механического воздействия компонентов внутри матрицы [1, 2].

В МЗКБ присутствует матрица, состоящая из цементного раствора, различных добавок и жесткого скелета из заполнителя. Снижение уровня деформаций МЗКБ сводится к реализации процессов выравнивания гидратации за счет более равномерного распределения частиц цемента в объеме МЗКБ; физического вытеснения воды из воздушных и капиллярных микропор, частичного перевода ее в гелевую область [3].

Правильное дозирование, степень дисперсности и технология введения добавок ведут к снижению деформаций МЗКБ, так как делают их более прочными и стойкими к воздействию агрессивных сред [4].

В работах [5–7] представлены современные исследования МЗКБ с минеральными добавками и влияние разнообразных факторов на их физико-механические свойства. Деформации ползучести являются не менее важными эксплуатационными характеристиками МЗКБ [8]. Возникновение этих деформаций обуславливают такие факторы, как водотвердое отношение, размер заполнителя, тонкость помола вяжущего, влажность, возраст бетона к моменту приложения нагрузки, величина нагрузки [9–11].

Воздействие ряда параметров (структуры, состава бетона, процентного содержания пластифицирующих и минеральных добавок) освещено в работах, где также отмечается влияние известнякового тонкодисперсного наполнителя на реологические и технологические свойства бетона [12–14].

Методика оценки долговечности бетонов на композиционном вяжущем рассмотрена в работе [15].

Таким образом, анализ опубликованных работ, как приведенных выше, так и других по данной теме, показывает, что при разработке технологии МЗКБ особое внимание уделяется повышению прочности, морозостойкости, стойкости к циклическим нагрузкам и истиранию (например, при получении дорожных конструкций). Данные задачи не всегда возможно реализовать с помощью существующих методов проектирования композиций

МЗКБ и технологий производства. Особенно это затруднение касается задачи повышения трещиностойкости бетонов, поэтому необходимо совершенствовать научные методы и способы повышения эксплуатационно-технологических свойств МЗКБ (прежде всего их трещиностойкости и долговечности).

Чтобы решить вышеуказанные задачи, требуется реализовать современные идеи по регулированию зернового состава известняков крупной фракции с модификацией состава МЗКБ за счет использования мелкодисперсного наполнителя из известняка дробильно-сортировочного метода обработки и пластифицирующих добавок (совместное применение этих добавок позволяет создать синергетический эффект). Вышеприведенные соображения определяют цели данной работы.

**Модели и методы.** При исследовании ползучести рассматривается кратковременная ползучесть, продолжительность которой  $(t - \tau_0)$  мала по сравнению с возрастом бетона  $\tau_0$  (100 сут., во время которых была приложена нагрузка). В этом случае можно принять

$$E(\tau) = E(\tau_0) = E = \text{const.}$$

При постоянном напряжении  $\sigma$

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma}{E} + C\tau_0 \cdot \sigma \cdot (1 - e^{-\gamma(t-\tau)}).$$

Первое слагаемое представляет собой деформацию, развивающуюся в момент приложения нагрузки и не зависящую от времени [7], второе – деформацию ползучести:

$$\varepsilon_{cr} = C\tau_0 \cdot \sigma \cdot (1 - e^{-\gamma(t-\tau)}).$$

Определение деформаций ползучести проводилось на образцах – кубах размером 100×100×100 мм. Данный подход вполне согласуется с предыдущими исследованиями по определению деформационных свойств мелкозернистых бетонов, работающих в сложных условиях нагружения [11]. Загрузка образцов осуществлялась поэтапно. Нагрузка на шаг была равной 50 кН. Мгновенные измерения деформации проводились с помощью тензометрического моста Уинстона. Использовался высокоточный электронный гальванометр с разрешением  $10^{-7}$ . База тензодатчиков составляла 20 мм. Для компенсации контактных (локальных) напряжений при переносе нагрузки на образец использовалась схема свободной (шарнирной) верхней опоры и неподвижной нижней. Задача состояла в оценке развития мгновенных и длительных деформаций мелкозернистого бетона в двух ортогональных плоскостях. Поэтому были использованы два тензометрических датчика (в вертикальной и горизонтальной осях на каждой грани).

Фактическое значение сжимающей нагрузки на образец, кН, устанавливалось динамометром.

Для исследования деформаций ползучести был применен следующий метод. Для испытаний использовались рамки, но измерительными приборами были часовые индикаторы и динамометр (рис. 1).

Деформационные свойства МЗКБ контролировались на трех уровнях: микро-, мезо- и макроуровне. Эти уровни отражают особенности взаимодействия структурообразующих

элементов в мелкозернистом карбонатном бетоне, которые влияют в том числе на деформационное поведение МЗКБ.

Одним из способов уменьшения деформаций ползучести является создание однородной и компактной бетонной конструкции. Данной цели способствуют формирование контактной структуры уплотненного типа с минимальным количеством пустот, а также введение в бетонную конструкцию известнякового микрозаполнителя.

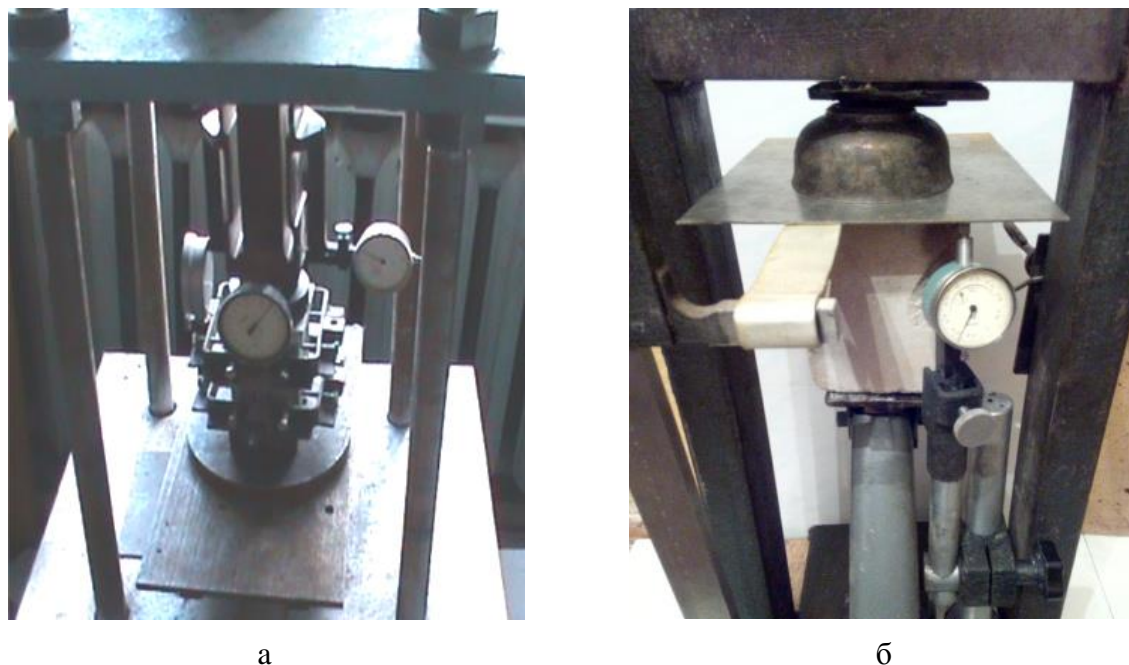


Рис. 1. Тензометрические приборы для оценки деформаций кратковременной ползучести:  
а – мгновенной; б – длительной

Заполнитель в работе был оптимизирован по формуле Функа – Дингера в соответствии с данными, представленными в табл. 1. Расходы фракций на 1 м<sup>3</sup> смеси приведены в табл. 2.

Таблица 1

Параметры сит, частных и полных остатков согласно распределению Функа – Дингера для известнякового заполнителя

№ фракции	Сита, мм	Остаток			Полный проход, %
		Частный, г	Частный, %	Полный, %	
7	10	0	0	0	100
6	5	227	33,4	33,4	66,6
5	2,5	161	23,7	57,1	42,9
4	1,25	116	17,1	74,2	25,8
3	0,63	80	11,8	86	14
2	0,315	58	8,5	94,5	5,5
1	0,16	38	5,6	100	0

Таблица 2

Расход заполнителя на 1 м<sup>3</sup> смеси

№ фракции	Фракция, мм	Расход, кг/м <sup>3</sup>
6	5	511
5	2,5	362,4
4	1,25	261,1
3	0,63	180,1
2	0,315	129,1
1	0,16	85,6

При получении микрозаполнителя известняковую крошку измельчали в шаровой мельнице до удельной поверхности около 500 м<sup>2</sup>/кг и добавляли в смесь в качестве заменителя основного вяжущего в количестве до 50 % мас. (цемент).

Во время анализа влияния ингредиентов компонентов на деформации ползучести МЗКБ был использован метод трехфакторного планового эксперимента типа В-D13 для соответствующей матрицы из десяти вариантов приготовления смеси МЗКБ. Входными переменными были:  $x_1$  – отношение микрозаполнителя из известняка к цементу, %;  $x_2$  – отношение суперпластификатора СП-1 к цементу;  $x_3$  – процентное содержание частиц диаметром 0,08 мм в известняковом микрозаполнителе. В качестве функций отклика были исследованы мгновенные деформации кубических образцов размером 100×100×100 мм. Было испытано пятнадцать образцов (пять из десяти смесей были специально подобраны для испытаний на ползучесть) – кубиков размером 100×100×100 мм (по три образца для каждого из пяти вариантов состава смеси (табл. 3)). Образцы затвердевали в естественных условиях. Пластичность смеси контролировалась распространением стандартного конуса. Для каждого состава было выбрано водотвердое отношение в соответствии с расплывом, равным 110 мм, на встряхивающем столе.

Таблица 3

Расходы компонентов смеси на 1 м<sup>3</sup> МЗКБ

№ состава	Вяжущая часть, кг	Заполнитель, кг	Цемент, кг	Известняк, кг	Суперпластификатор СП-1, кг
1	672	1 528	672	0	6,72
2			336	336	0
3			472	200	0
4			472	200	2,11
5			553	119	4,15

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

По методу планирования экспериментов получили регрессионное уравнение для мгновенных деформаций и соответствующие ему диаграммы:

$$Y = 295,9 + 63,51x_1 - 9,3x_2 + 10,12x_3 + 378,5x_1^2 - 158,5x_2^2 - 153,2x_3^2 - 92,9x_1x_2 - 67,49x_1x_3 + 106,85x_2x_3.$$

Графики зависимостей (рис. 2) показали влияние количества известнякового микронаполнителя и суперпластификатора СП-1 в вяжущей части на мгновенные деформации МЗКБ. Минимум деформаций отмечался при содержании известняка в количестве 17–25 % от массы вяжущего, а при превышении 30 % деформации бетона возрастали, достигая предельных значений при содержании суперпластификатора СП-1 в количестве 4–5 % от массы твердой части вяжущего.

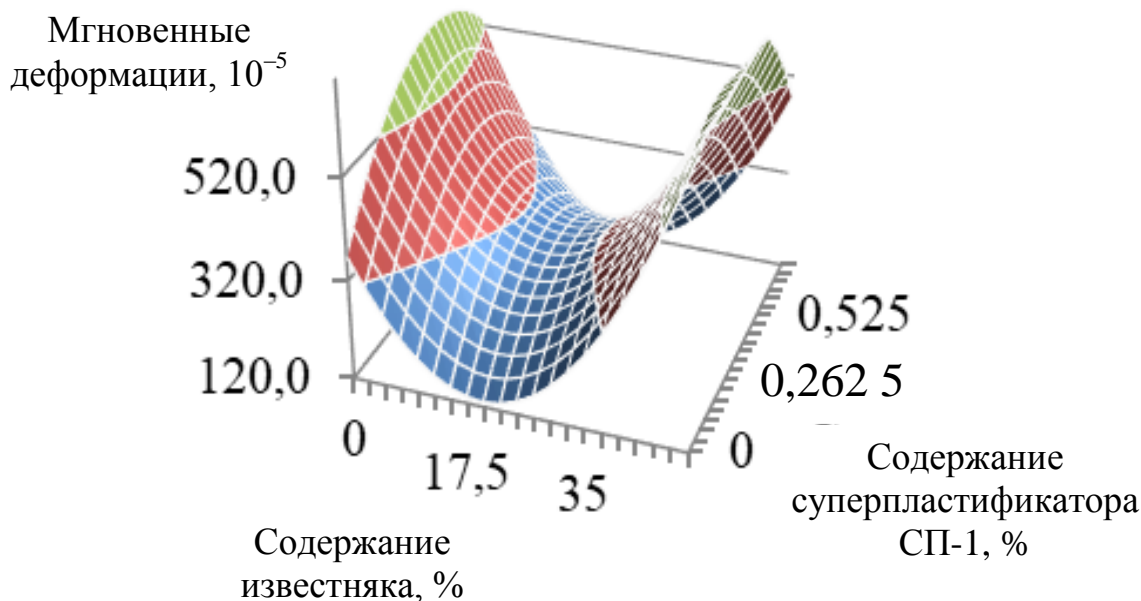


Рис. 2. Зависимость мгновенных деформаций от процентного содержания суперпластификатора СП-1 и наполнителя в процентах в составе модели МЗКБ  
 $Y = 3,1x^2 - 6,6x + 46,7$

Составы МЗКБ, для которых проведены эксперименты на кратковременную ползучесть, приведены в табл. 4.

Таблица 4

## Составы бетонов

№ состава	Состав бетона
1	В/Ц = 0,34; И/Ц = 0 %; СП-1 = 1 %
2	В/Ц = 0,45; И/Ц = 50 %; СП-1 = 0 %
3	В/Ц = 0,39; И/Ц = 17,8 %; СП-1 = 0,75 %
4	В/Ц = 0,41; И/Ц = 50 %; СП-1 = 0,75 %
5	В/Ц = 0,46; И/Ц = 30 %; СП-1 = 0,75 %

Номера составов и соответствующие расчетные значения мер линейной ползучести бетона даны в табл. 5.

Таблица 5

Расчетные значения мер линейной ползучести бетона в зависимости от состава

№ состава	В/Ц	И/Ц	СП, %	$C_{cr(28)расч}$
1	0,45	50	0	$7,5E^{-05}$
2	0,34	0	1	$4E^{-05}$
3	0,46	30	0,75	$7,7E^{-05}$
4	0,39	17,8	0,75	$4,2E^{-05}$
5	0,41	50	0,75	$6E^{-05}$

Номера составов и экспериментальные значения меры линейной ползучести  $C_{\tau_0}$  и  $\sigma$  приведены в табл. 6.

Таблица 6

Экспериментальные значения меры линейной ползучести  $C_{\tau_0}$   
в зависимости от состава бетона

№ состава	$C_{\tau_0} \cdot \sigma$	$C_{\tau_0}, \text{МПа}^{-1}$
1	$18,8 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-5}$
2	$80 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$
3	$39 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-5}$
4	$11 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-5}$
5	$37 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$

Номера составов, соответствующие им расчетные зависимости, теоретические  $C_{cr, теор}$  и экспериментальные  $C_{cr, эксп}$  значения меры линейной ползучести бетона даны в табл. 7.

Таблица 7

Приближенные расчетные зависимости,  
теоретические  $C_{cr, теор}$  и экспериментальные  $C_{cr, эксп}$  значения меры  
линейной ползучести бетона в зависимости от состава бетона

№ состава	$C_{cr, эксп}$	$C_{cr, теор}$
1	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-5}$
2	$4 \cdot 10^{-5}$	$7,5 \cdot 10^{-5}$
3	$3 \cdot 10^{-5}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$
4	$1 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$
5	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$7,7 \cdot 10^{-5}$

Полученные математические модели позволяют оптимизировать расход микронаполнителя и суперпластификатора по технологическим и эксплуатационным свойствам и проектировать бетоны с пониженным уровнем мгновенных, кратковременных и длительных деформаций. Минимум мгновенных деформаций регистрируется при

содержании микронаполнителя в бетоне около 18–22 % (см. рис. 2), при котором между заполнителем и вяжущим образуется более плотная и однородная композитная структура с вязким гелевым компонентом и жестким каркасом заполнителя, обеспечивающая улучшенные эксплуатационные характеристики бетона, с повышенной трещиностойкостью и уменьшенными значениями деформаций. Совместное применение мелкодисперсного наполнителя и суперпластификатора выявляет синергетический эффект, обусловленный улучшением адсорбции частиц комплексной добавки на частицах цемента и повышением адгезии зерен заполнителя, цемента и добавки при твердении бетона. Данные вышеприведенных экспериментов свидетельствуют о том, что мелкодисперсный известняковый наполнитель связывает свободную влагу при твердении бетона, что, в свою очередь, способствует минимизации деформаций МЗКБ.

### ВЫВОДЫ

Теоретические и экспериментальные значения меры линейной ползучести существенно различаются для составов МЗКБ с добавлением известняка и суперпластификатора, испытанных в возрасте 100 сут. Наличие мелкой фракции известняка уменьшает деформации ползучести. Этот эффект более выражен в композициях с мелкодисперсным известняковым компонентом в вяжущем до 30 % и суперпластифицирующей добавкой СП-1 в количестве 0,75 % от вяжущего. При затвердевании бетона заполнитель вместе с суперпластификатором СП-1 способствует укреплению зоны контакта цементного камня с заполнителем. В этом случае между наполнителем и связующим образуется более прочная композитная структура, что снижает уровень длительных деформаций ползучести в среднем на 80 %, а это способствует увеличению эффективности и физико-механических свойств МЗКБ, его ранней прочности (последнее в среднем на 30 %). В дальнейшем предполагается провести исследования по изучению поведения МЗКБ на различных уровнях упрочнения структуры, нагружения и деформаций ползучести, а также с разными видами пластификаторов в составе комплексной добавки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов В.В., Смирнов М.А. Новые принципы определения состава высококачественного бетона // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2008. Вып. 13. С. 341–346.
2. Низина Т.А., Пономарев А.Н., Балыков А.С. Мелкозернистые дисперсно-армированные бетоны на основе комплексных модифицирующих добавок // *Строительные материалы*. 2016. № 9. С. 68–72.
3. Бердов Г.И., Ильина Л.В., Зырянова В.Н., Никоненко Н.И., Мельников А.В. Повышение свойств композиционных строительных материалов введением минеральных микронаполнителей // *Стройпрофиль: строительные технологии и бетоны*. 2012. № 2. С. 26–30.
4. Плагин А.А., Костюк Т.А., Салия М.Г., Бондаренко Д.А. Применение карбонатных добавок в цементных составах для гидроизоляционных и реставрационных работ зданий и сооружений // *Сборник научных трудов Института строительства и архитектуры МГСУ (посв. 90-летию ф-та ПГС)*. М.: МГСУ. 2011. С. 224–227.
5. Schutter G.De. Effect of limestone filler as mineral addition in self-compacting concrete // *36th Conference on Our World in Concrete & Structures: Recent Advances in the Technology*



*of Fresh Concrete*, *Proceedings*. Ghent: Ghent University, Department of Structural engineering. 2011, pp. 49–54.

6. Чернышов Е.М., Коротких Д.Н. Определяющие соотношения показателей сопротивления разрушению цементных бетонов и параметров их структуры // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 5. С. 167–174.

7. Максимова И.Н., Ерофеев В.Т., Макридин Н.И., Полубарова Ю.В. Комплексная оценка параметров качества структуры и механики разрушения цементного камня // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2015. № 3 (675). С. 14–22.

8. Белов В.В., Субботин С.Л., Куляев П.В. Прочностные и деформативные свойства бетонов с карбонатными микронаполнителями // *Строительные материалы*. 2015. № 3. С. 25–29.

9. Балыков А.С., Низина Т.А., Макарова Л.В. Разработка составов высокопрочных мелкозернистых бетонов на природном и техногенном заполнителях и критериев оценки их эффективности // *Высокопрочные цементные бетоны: технологии, конструкции, экономика (ВПБ-2016)*. Казань: КГАСУ. 2016. С. 19.

10. Chaid R., Jauberthie R., Boukhaled A. Effet de l'ajout calcaire sur la durabilite des betons // *Lebanese Science Journal*. 2010. Vol. 11. No. 1, pp. 91–103.

11. Desnerck P., Schutter G. De., Taerwe L. Stress-strain behavior of self-compacting concretes containing limestone fillers // *Structural concrete*. 2012. No. 2. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Stress-strain-behaviour-of-self-compacting-fillers-Desnerck-Schutter/94fdc94975a49e681593495992d636aa2395f276> (дата обращения: 21.05.2022).

12. Хозин В.Г., Сибгатуллин И.Р., Хохряков О.В., Красникова Н.М. Производство ЦНВ из техногенных отходов – эффективный путь решения экологических и сырьевых проблем // *Строительные материалы*. 2012. № 6. С. 190–192.

13. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Управление структурообразованием строительных композитов. Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия. 2011. 462 с.

14. Лесовик В.С., Агеева М.С., Денисова Ю.В., Иванов А.В. Использование композиционных вяжущих для повышения долговечности бетонной брусчатки // *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова*. 2011. № 4. С. 52–54.

15. Ерофеев В.Т., Ерофеев П.С., Меркулов А.И., Митина Е.А., Максимова И.Н., Меркулов Д.А. Методика прогноза механических параметров бетонов методом численного моделирования // *Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред: Материалы XXI Международного симпозиума имени А.Г. Горшкова*. М.: МАИ. 2015. С. 29–31.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

*БЕЛОВ Владимир Владимирович* – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

*БАРКАЯ Темура Рауфович* – кандидат технических наук, заведующий кафедрой конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: btrs@list.ru

КУЛЯЕВ Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: p.kuliaev@yandex.ru

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Белов В.В., Баркая Т.Р., Куляев П.В. Влияние комплексной добавки на ползучесть мелкозернистого карбонатного бетона // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2022. № 3 (15). С. 11–22.

---

## EFFECT OF COMPLEX ADDITIVE ON CREEP OF FINE-GRAINED CARBONATE CONCRETE

*V.V. Belov, T.R. Barkaya, P.V. Kulyaev*  
*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** Fine-grained carbonate concretes are a fairly popular material at present, with good indicators for crack resistance, frost resistance, criteria for durability and reliability of building materials and structures. The task of finding the most economically and ecologically justified ways to increase the deformation properties of this concrete is relevant. The article reflects the results of the investigation of deformations of fine-grained carbonate concrete with a complex additive consisting of finely dispersed limestone filler and superplasticizer. Deformations are divided into conditionally instantaneous, short-term and long-term (creep). The study uses a method of planning experiments and special equipment, electric strain gauges for measuring instantaneous deformations and hour-type indicators for measuring creep deformations. It is shown that complex additive contributes to reduction of deformations of fine-grained carbonate concrete and leads to increase of their durability due to modification of structure formation and intensification of hydration process.

**Keywords:** fine-grained carbonate concretes, deformation properties, creep, influence, chemical additives.

### REFERENCES

1. Belov V.V., Smirnov M.A. New principles for determining the composition of high-quality concrete. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2008. Iss. 13, pp. 341–346. (In Russian).
2. Nizina T.A., Ponomarev A.N., Balykov A.S. Fine disperse-reinforced concretes on the basis of complex modifying additives. *Stroitel'nye materialy*. 2016. No. 9, pp. 68–72. (In Russian).
3. Berdov G.I., Il'ina L.V., Zyryanova V.N., Nikonenko N.I., Mel'nikov A.V. Improving the properties of composite building materials by introducing mineral micro-fillers. *Strojprofil': stroitel'nye tekhnologii i betony*. 2012. No. 2, pp. 26–30. (In Russian).
4. Plugin A.A., Kostyuk T.A., Saliya M.G., Bondarenko D.A. Application of carbonate additives in cement compositions for waterproofing and restoration works of buildings and structures. *Collection of scientific papers of the Institute of Construction and Architecture of MGSU (ded. 90th Anniversary of the Faculty of PGS)*. Moscow: MGSU. 2012, pp. 224–227. (In Russian).

5. Schutter G.De. Effect of limestone filler as mineral addition in self-compacting concrete. *36th Conference on Our World in Concrete & Structures: Recent Advances in the Technology of Fresh Concrete', Proceedings*. Ghent: Ghent University, Department of Structural engineering. 2011, pp. 49–54.
6. Chernyshov E.M., Korotkih D.N. Essential relations between failure resistance parameters and structure parameters for mortar concrete. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*. 2015. No. 5, pp. 167–174. (In Russian).
7. Maksimova I.N., Erofeev V.T., Makridin N.I., Polubarova Y.V. Comprehensive assessment of the quality parameters of the structure and mechanics of the destruction of cement stone. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2015. No. 2, pp. 14–22. (In Russian).
8. Belov V.V., Subbotin S.L., Kulyaev P.V. Comprehensive assessment of the quality parameters of the structure and mechanics of the destruction of cement stone. *Stroitel'nye materialy*. 2015. No. 3, pp. 25–28. (In Russian).
9. Balykov A.S., Nizina T.A., Makarova L.V. Development of compositions of high-strength fine-grained concrete on natural and man-made aggregates and criteria for evaluating their effectiveness. *High-strength cement concretes: technologies, constructions, economics (VPB-2016)*. Kazan: KGASU. 2016, p. 19. (In Russian).
10. Chaid R., Jauberthie R., Boukhaled A. Effet de l'ajout calcaire sur la durabilite des betons. *Lebanese Science Journal*. 2010. Vol. 11. No. 1, pp. 91–103.
11. Desnerck P., Schutter G.De., Taerwe L. Stress-strain behavior of self-compacting concretes containing limestone fillers. *Structural concrete*. 2012. No. 2. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Stress-strain-behaviour-of-self-compacting-fillers-Desnerck-Schutter/94fdc94975a49e681593495992d636aa2395f276> (accessed: 21.05.2022).
12. Hozin V.G., Sibgatullin I.R., Hohryakov O.V., Krasnikova N.M. Production of CNV from man-made waste is an effective way to solve environmental and raw materials problems. *Stroitel'nye materialy*. 2012. No. 6, pp. 190–192. (In Russian).
13. Lesovik V.S., Chulkova I.L. Upravlenie strukturoobrazovaniem stroitel'nyh kompozitov [Management of structure formation of building composites]. Omsk: Siberian State Automobile and Road Academy. 2011. 462 p.
14. Lesovik V.S., Ageeva M.S., Denisova Yu.V., Ivanov A.V. The use of composite binders to increase the durability of concrete pavers. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shuhova*. 2011. No. 4, pp. 52–54. (In Russian).
15. Erofeev V.T., Erofeev P.S., Merkulov A.I., Mitina E.A., Maksimova I.N., Merkulov D.A. The method of forecasting the mechanical parameters of concrete by numerical modeling. *Dynamic and technological problems of mechanics of structures and continuous media: Materials of the XXI International Symposium named after A.G. Gorshkov*. Moscow: MAI. 2015, pp. 29–31. (In Russian).

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*BELOV Vladimir Vladimirovich* – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Structures, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

*BARKAYA Temur Raufovich* – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Constructions and Structures, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: btrs@list.ru

*KULYAEV Pavel Victorovitch* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, FSBEI HE «Tver State Technical University», 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: p.kuliaev@yandex.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Belov V.V., Barkaya T.R., Kulyaev P.V. Effect of complex additive on creep of fine-grained carbonate concrete // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2022. No. 3 (15), pp. 11–22.

УДК 691.32

### СПОСОБ БЫСТРОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕСОВОЙ ВЛАЖНОСТИ ПЕСКА ДЛЯ КОРРЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА БЕТОНА

*Ю.Г. Косивцов, В.И. Гультияев*

*Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Косивцов Ю.Г., Гультияев В.И., 2022

**Аннотация.** Рассмотрен экспресс-метод определения весовой влажности песка для изготовления бетонной смеси, позволяющий за 5–7 мин без применения сложной вычислительной техники и оборудования рассчитать необходимое количество воды затворения.

**Ключевые слова:** бетонная смесь, весовая влажность, песок, энергоресурсосбережение.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2022-3-22-25**

В бетонных смесях содержится почти вдвое меньше воды по массе, чем цемента, поэтому ошибка в дозировании воды существенно сказывается на отклонении фактического водоцементного отношения (В/Ц) от рассчитанного. Увеличение расхода воды ведет к снижению прочности бетона, уменьшение – к ухудшению удобоукладываемости бетонной смеси. Чтобы избежать грубой ошибки в дозировании расхода воды, необходимо учесть в первую очередь наличие влаги в песке. Весовая влажность песка варьируется в интервале 1–9 %. Песок является материалом открытого штабельного хранения, часто увлажняется, характеризуется неоднородностью влажности. Следовательно, систематическое определение его весовой влажности крайне необходимо. Обычно ее находят с помощью подсчета по данным взвешивания пробы песка до и после высушивания в сушильном шкафу при температуре  $110 \pm 5$  °С [2; 3]. Но такой подсчет занимает много времени, поэтому описанным способом чаще устанавливают весовую влажность единичной пробы песка, что не всегда дает представление о реальной влажности всего массива песка в штабеле. Кроме того, при высушивании удаляется и влага, поглощенная порами материала песка, которая не влияет на истинное В/Ц бетонной