

С.А. ЖДАНОК<sup>1</sup>, д-р физ.-мат. наук (seo@art-pte.com); Е.Н. ПОЛОНИНА<sup>2</sup>, инженер,  
С.Н. ЛЕОНОВИЧ<sup>2</sup>, д-р техн. наук, иностранный академик РААСН,  
Б.М. ХРУСТАЛЕВ<sup>2</sup>, д-р техн. наук, Е.А. КОЛЕДА<sup>2</sup>, инженер

<sup>1</sup> ООО «Передовые исследования и технологии» (223058, Республика Беларусь, Минский р-н, д. Лесковка, ул. Совхозная, 1, к. 16)

<sup>2</sup> Белорусский национальный технический университет (220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65)

## Повышение прочности бетона пластифицирующей добавкой на основе наноструктурированного углерода

Изучены технологические свойства бетонных смесей, модифицированных пластифицирующей добавкой на основе наноструктурированного углерода. Исследовано влияние добавки на основные свойства тяжелого бетона класса С25/30. Приведены результаты исследований, свидетельствующие об активном участии углеродных нанотрубок: повышение эксплуатационных характеристик бетона, а также возможности снижения количества вводимого цемента до 10%. Добавка обладает свойствами, ускоряющими темп набора прочности, что позволяет решать задачи ранней распалубки без использования пропарки, а также увеличивает конечную прочность изделия в среднем на 30%. Проведенные испытания показали, что рассматриваемая добавка позволяет быстрее решать задачи по набору прочностных характеристик, экономя электроэнергию. Пластифицирующая добавка на основе наноструктурированного углерода может найти применение в товарных бетонах (с высокой степенью подвижности, морозостойкости и водонепроницаемости) и жестких тяжелых бетонах.

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки, бетонная смесь, тяжелый бетон, модифицирование, свойства.

**Для цитирования:** Жданок С.А., Полонина Е.Н., Леонович С.Н., Хрусталева Б.М., Коледа Е.А. Повышение прочности бетона пластифицирующей добавкой на основе наноструктурированного углерода // *Строительные материалы*. 2018. № 6. С. 67–72.

S.A. ZHDANOK<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Physics and Mathematics); E.N. POLONINA<sup>2</sup>, Engineer, S.N. LEONOVICH<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), Foreign Member of RAACS (Russian Academy of Architecture and Construction Sciences), B.M. KHRUSTALEV<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering), E.A. KOLEDA<sup>2</sup>, Engineer

<sup>1</sup> ООО "Advanced Research and Technologies" (room 16, 1, Sovkhoznyaya Street, Leskovka, Minsk District, 223058, Republic of Belarus)

<sup>2</sup> Belarusian National Technical University (Belarus, 220013, Minsk, Nezavisimosty Avenue, 65)

### Strength Enhancement of Concrete with a Plasticizer on the Basis of Nano-Structured Carbon

Technological properties of concrete mixtures modified with a plasticizer on the basis of nano-structured carbon are studied. The effect of the additive on the basic properties of heavy concrete of C25/30 class is investigated. The results of the research indicating the active participation of carbon nano-tubes, increasing the performance characteristics of concrete, as well as the possibility of reducing the amount of cement introduced to 10% are presented. The plasticizer has properties that accelerate the rate of strength gain, which makes it possible to solve the problems of early stripping without the use of steaming, and also increases the final strength of the product by an average of 30%. The tests conducted have shown that the additive under consideration makes it possible to solve the problems of a set of strength characteristics faster saving electricity. The plasticizer on the basis of nano-structured carbon can find the use in the ready mixtures (with high level of mobility, frost resistance, and water proofing) to stiff heavy concretes.

**Keywords:** carbon nano-tubes, concrete mixture, heavy concrete, modification, properties.

**For citation:** Zhdanok S.A., Polonina E.N., Leonovich S.N., Khrustalev B.M., Koleda E.A. Strength enhancement of concrete with a plasticizer on the basis of nano-structured carbon. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 6, pp. 67–72. (In Russian).

Бетон на основе портландцемента используется в строительстве около 200 лет и по-прежнему требует улучшения свойств. В настоящее время существует необходимость защиты бетона от вредных воздействий окружающей среды. Поэтому на рынке существует множество добавок, которые придают бетонным смесям и бетонам соответствующие свойства.

Строительные материалы и конструкции, которые производятся на основе современных принципов модифицирования структуры, обладают повышенными характеристиками прочности и долговечности. К таким модификаторам относят наноструктурирующие добавки, которые позволяют уплотнить не только структуру цементного камня, но и композита в целом.

В качестве наночастиц в бетонах используют углеродные нанотрубки, фуллерены разных модификаций и другие упорядоченные однослойные и многослойные углеродные материалы [1–4]. Равномерное распределение углеродных наночастиц оказывает большое влияние на свойства бетонной смеси и как следствие, на физико-механические свойства конструкционного бетона [5–7]. Эффективность введения углеродных наноматериалов (УНМ) в цемент и цементные композиции в целом основывается на использовании высокого

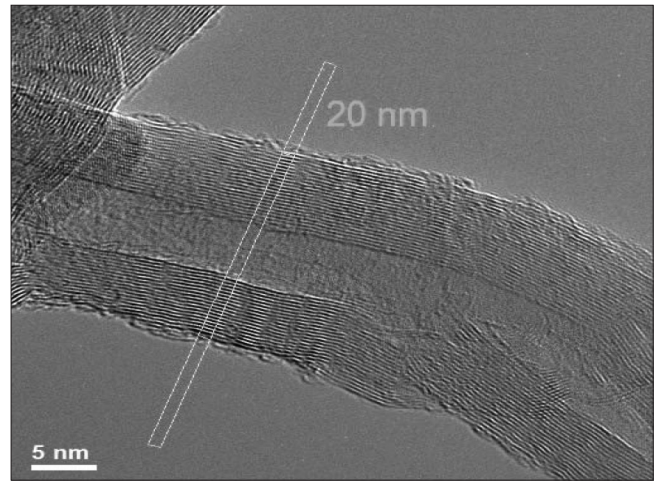
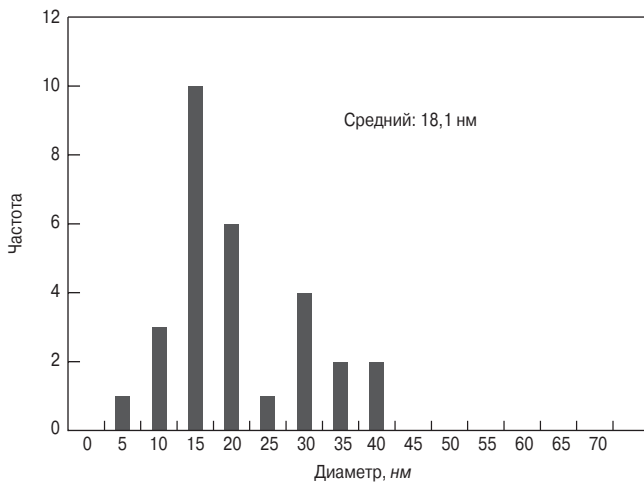
уровня энергии поверхности частиц УНМ, которые могут служить центрами кристаллизации, ускоряя процесс образования кристаллогидратов и обеспечивая повышение набора прочности цементного камня. Другим вариантом эффективности УНМ является эффект армирования [8, 9].

В настоящей статье рассмотрены результаты проведенных испытаний на тяжелом бетоне и установлена оптимальная дозировка пластифицирующей добавки на основе наноструктурированного углерода [10–13] и ее влияние на свойства бетонных смесей и физико-механические свойства тяжелого бетона.

В качестве вяжущего вещества в исследованиях использован портландцемент марки М500Д0 (Д20) (ГОСТ 10178–85) ОАО «Красносельскстройматериалы» активностью  $R_{II}=34,1$  МПа; коэффициент нормальной густоты 25,75%.

Мелкий заполнитель — песок природный (ГОСТ 8736–93) с модулем крупности  $M_k=2$ , насыпной плотностью  $\rho_n=1600$  кг/м<sup>3</sup>, истинной плотностью  $\rho_i<2800$  кг/м<sup>3</sup>.

Крупный заполнитель — щебень гранитный фракции 5–20 мм, насыпной плотностью  $\rho_n=1400$  кг/м<sup>3</sup>, истинной плотностью  $\rho_i\sim 2700$  кг/м<sup>3</sup>.



**Рис. 1.** Гистограмма распределения углеродных нанотрубок по диаметру

**Таблица 1**

Показатель	Значение
Внешний вид	Непрозрачная, однородная жидкость от темно-коричневого до черного цвета
Массовая доля сухого остатка, %, не менее	37
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,1±0,1
Водородный показатель 15% водного раствора при 20°C, pH	7±1
Содержание хлор-ионов, %, не более	0,05



**Рис. 2.** Определение удобоукладываемости бетонной смеси по осадке конуса

**Таблица 2**

Состав	Расход материалов, кг на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси			
	Цемент	Щебень фр. 5–20 мм	Песок	Вода
B30 (C25/30)W8 F500	445	1035	820	210

**Таблица 3**

Наименование объекта испытаний, показатели, технические требования	Состав	Показатель удобоукладываемости	Содержание компонентов в составе
Подвижная смесь			
B30 (C25/30)W8 F500	1.1	П4–П5 (OK=16–20; 21–25 см)	Контрольный (бездобавочный, удобоукладываемость П4–П5)
	1.2		R 1% (с содержанием добавки в количестве 1% от массы цемента)
	1.3		R 1% – Ц 10%(с содержанием добавки в количестве 1% от массы цемента – 10% цемента)
	1.4		R 0,8% (с содержанием добавки в количестве 0,8% от массы цемента)
Жесткая смесь			
B30 (C25/30)W8 F500	1.5	П1 (OK=1–4 см)	Контрольный 2 (бездобавочный, удобоукладываемость П1)
	1.6		R 1% П1(с содержанием добавки в количестве 1% от массы цемента, удобоукладываемостью П1)

**Примечание.** R – пластифицирующая добавка на основе наноструктурированного углерода; Ц – цемент.

Вода для затворения и последующего твердения бетона, соответствующая требованиям СТБ 1114–98 и ГОСТ 23732–2011.

Пластифицирующая добавка в бетон на основе наноструктурированного углерода по ТУ ВУ 691460594.002–2016, обладающая характеристиками, приведенными в табл. 1.

Характеристика углеродных нанотрубок, входящих в состав добавки, представлена на рис. 1 [14].

При исследовании были изготовлены опытные образцы тяжелого бетона B30 (C25/30)W8 F500, расход материалов представлен в табл. 2.

С целью установления влияния наномодификатора на технологические свойства бетонных смесей были подобраны оптимальные дозировки данной добавки, которые представлены в табл. 3. В исследованных составах варьировались следующие параметры:

– показатель удобоукладываемости (П1, П4–П5);

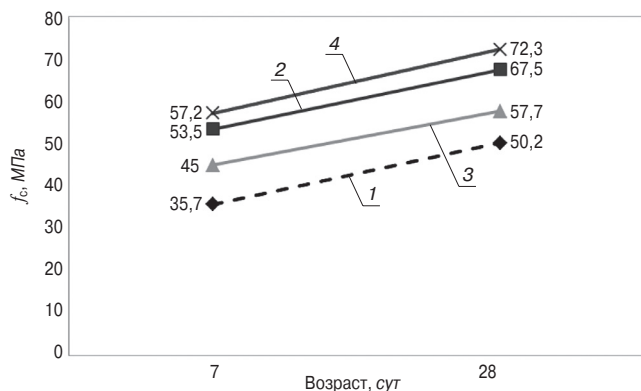


Рис. 3. Кинетика набора прочности бетона: 1 – состав 1.1; 2 – состав 1.2; 3 – состав 1.3; 4 – состав 1.4

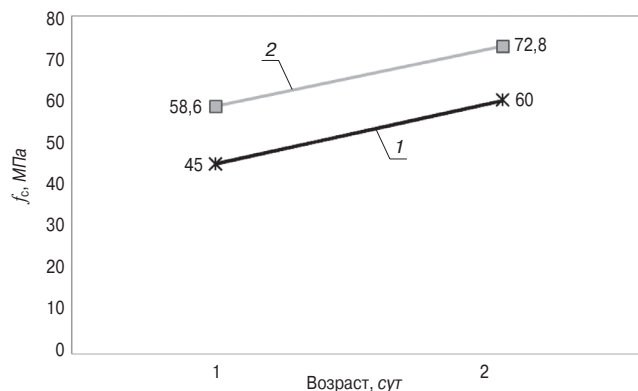


Рис. 4. Кинетика набора прочности бетона: 1 – состав 1.5; 2 – состав 1.6

– количество добавки (0,8 и 1% от массы цемента);

– расход цемента (445 кг/м<sup>3</sup>; 400 кг/м<sup>3</sup>).

Для составов 1.1–1.4 были исследованы технологические характеристики, такие как подвижность и сохраняемость удобоукладываемости (рис. 2), результаты которых представлены в табл. 4.

Для определения характеристик применялись стандартные методы испытания, изложенные в соответствующих нормативных документах.

Исследование влияния пластифицирующей добавки на технологические свойства и характеристики бетонных смесей позволили сделать следующие выводы:

1. Сохраняемость удобоукладываемости бетонной смеси составляет 120 мин при количестве вводимой добавки от 0,8 до 1%;

2. Введение пластифицирующей добавки позволяет снизить водоцементное отношение (до В/Ц=0,22), не ухудшая технологических свойств смеси.

С целью всестороннего изучения влияния пластифицирующей добавки на свойства тяжелого бетона В30 (С25/30)W8 F500 для составов 1.1–1.6 была определена прочность при сжатии в возрасте 7 и 28 сут (табл. 5, рис. 3, 4).

Анализ кинетики набора прочности свидетельствует, что образцы всех составов 1.1–1.6 в возрасте 28 сут соответствуют классу С25/30.

Для подвижных смесей составов 1.1–1.4 (удобоукладываемость П4–П5) модифицирование пластифицирующей добавкой позволило увеличить прочность при сжатии ( $f_c$ ) в возрасте 28 сут по сравнению с бездобавочным составом соответственно: для состава 1.2 – на 34% (67,5 МПа); для состава 1.3 – на 14% (57,7 МПа); для состава 1.4 – на 44% (72,3 МПа); при этом произошел набор прочности к 7 сут хранения у образцов, содержащих пластифицирующую добавку на основе наноструктурированного углерода до 60%.

Зафиксировано оптимальное количество добавки на основе наноструктурированного углерода – 0,8% от массы цемента, при котором прочность при сжатии составляет 72,3 МПа.

Для жестких смесей состав 1.5–1.6 (удобоукладываемость П1) модифицирование пластифицирующей добавкой позволило достичь прочности при сжатии в возрасте: 7 сут, равное 58,6 МПа; 28 сут – 72,8 МПа, что

Таблица 4

Свойства бетонной смеси	Значение показателей			
	Состав 1.1	Состав 1.2	Состав 1.3	Состав 1.4
Водоцементное отношение	0,47	0,22	0,26	0,24
Расход вяжущего, кг/м <sup>3</sup>	445	445	400	445
Подвижность бетонной смеси, ОК, см	20	21	21	21
Марка по удобоукладываемости	П4–П5			
Сохраняемость удобоукладываемости, ч	0,5	2	2	2
Средняя плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	2370	2285	2185	2285

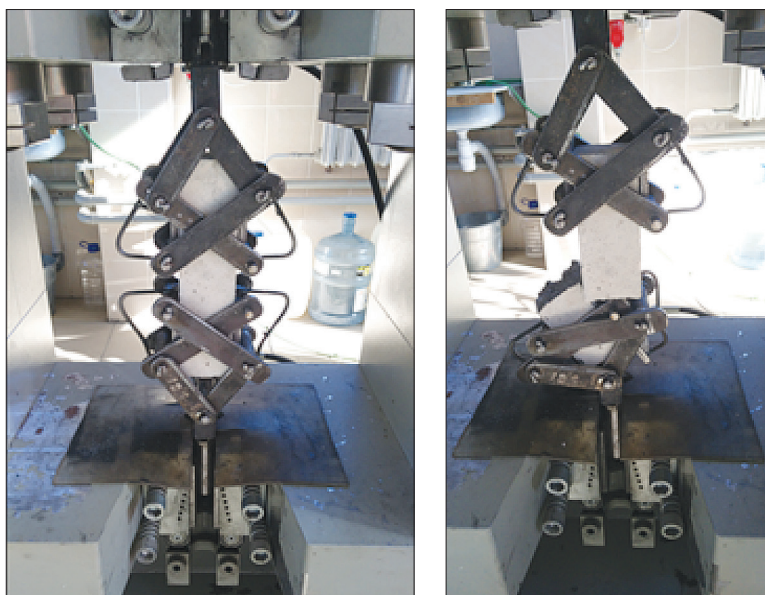


Рис. 5. Испытание опытного образца (призмы) на осевое растяжение разрывной машиной Controls 70

выше прочности контрольного образца на 30 и 21% соответственно.

Для проведения следующих видов испытаний: определения прочности бетона на осевое растяжение в возрасте 28 сут  $f_{ct}$ ; определения марки по морозостойкости F; определения марки по водонепроницаемости W; определения водопоглощения по массе  $W_m$  – были повторно исследованы свойства бетонной смеси (табл. 6)

Таблица 5

Наименование состава / № состава	Расход материалов, кг на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси						Вода, кг	В/Ц	ОК, см	Прочность при сжатии, $f_c$ , МПа	
	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Наноструктурированная добавка		7 сут				28 сут	
				%	кг						
В30 (С25/30)W8 F500	1.1	445	820	1035	–	–	210	0,47	20	35,7	50,2
	1.2	445	820	1035	1	4,45	100	0,22	21	53,5	67,5
	1.3	400	820	1035	1	4,45	105	0,26	21	45	57,7
	1.4	445	820	1035	0,8	3,56	105	0,24	21	57,2	72,3
	1.5	445	820	1035	–	–	145	0,32	3	45	60
	1.6	445	820	1035	1	4,45	95	0,21	3	58,6	72,8

Таблица 6

Свойства бетонной смеси	Значение показателей					
	Контрольный	R 1%	R 0,7%	R 0,6%	R 0,5%	R 0,4%
Водоцементное отношение	0,47	0,22	0,35	0,35	0,37	0,39
Расход вяжущего, кг/м <sup>3</sup>	445	445	445	445	445	445
Подвижность бетонной смеси, ОК, см	20	21	23	23	22	22
Марка по удобоукладываемости	П4–П5					
Сохраняемость удобоукладываемости, ч	0,5	2	2	2	1,5	1
Средняя плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	2370	2285	2280	2343	2394	2439

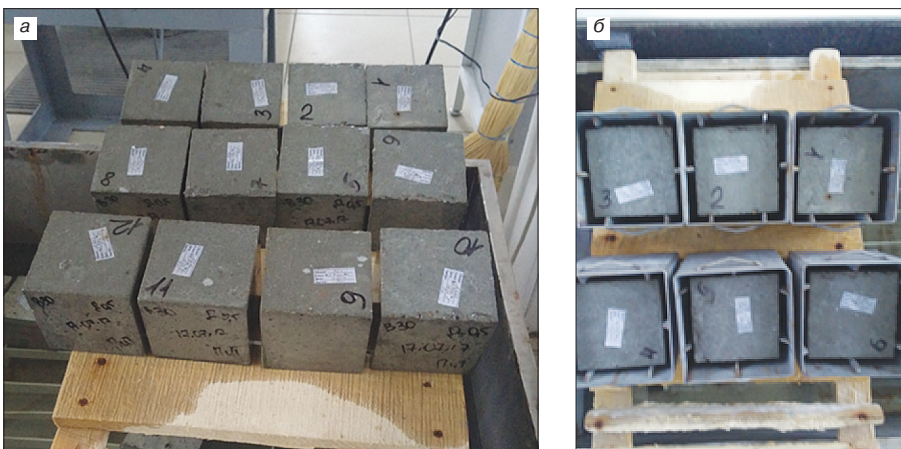


Рис. 6. Испытание опытных образцов (кубов) на морозостойкость: а – вид образцов после насыщения в ванне для насыщения и оттаивания ВДОБО; б – вид образцов перед помещением их в морозильную камеру

для уточнения количества вводимой добавки.

Было произведено шесть лабораторных замесов с различным содержанием добавки (в количестве 0,4–0,7% и 1% от массы цемента), объем одного замеса составлял 7 л. Загрузка лабораторной бетономешалки происходила в следующей очередности: крупный и мелкий заполнители, цемент. Далее происходило перемешивание сухих компонентов до однородной массы. Вода вводилась в смесь двумя этапами: в первый этап вместе с водой было введено необходимое количество добавки, а во втором этапе – оставшееся количество воды для получения подвижности П4–П5.

Таблица 7

Состав	Расход материалов, кг на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси						Прочность при сжатии $f_c$ , МПа	
	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень, кг	Пластифицирующая добавка		7 сут	28 сут	
				%	кг			
Состав 1.7	445	820	1035	0,5	2,225	44,5	60,4	

Таблица 8

Объект испытаний	Нормированные значения показателей, установленных в ТНПА	Фактическое значение показателей для каждого образца, с					Вывод о соответствии требованиям ТНПА
		1 2	3 4	5 6	Ср. (3 и 4)		
Состав 1.7	W8 (9,5–13,7 с/см <sup>3</sup> )	12,1 111,8	153,6 238,4	288,2 387,8	196		Соответствует W8

При сравнении свойств изготовленных бетонных смесей с позиции сохраняемости удобоукладываемости состав, содержащий пластифицирующую добавку в количестве 0,5% от массы цемента, более предпочтителен, чем другие составы, по показателю плотности и сохраняемости удобоукладываемости в 1,5 ч. Кроме того, при таком содержании добавки бетонная смесь однородна и отсутствует водоотделение.

Следовательно, состав, содержащий добавку на основе наноструктурированного углерода в количестве 0,5% от массы цемента (1.7), показал следующие результаты (табл. 7–8).

Для определения прочности на осевое растяжение бетонных образцов, модифицированных добавкой, были изготовлены образцы-призмы квадратного сечения размерами 70×70×280 мм.

По результатам испытаний значение прочности бетона на осевое растяжение в серии образцов составило 2,62 МПа.

Для определения соответствия бетона состава 1.7 предъявляемой марки по морозостойкости был использован ускоренный метод определения морозостойкости при многократном замораживании и оттаивании в растворе соли по ГОСТ 10060.2–95.

По итогам испытаний можно сделать вывод, что марка по морозостойкости превышает F500, так как потеря прочности составляет 1,4% при нормированной потере прочности 5%.

Водонепроницаемость бетонных образцов определялась на цилиндрах диаметром 150 мм и высотой 150 мм. Для определения марки по водонепроницаемости использовался косвенный метод при помощи устройства для ускоренного определения водонепроницаемости АГАМА-2 РМ по ГОСТ 12730.5–84 (табл. 8).

После проведения испытания косвенным методом, выяснилось, что образцы состава 1.7 соответствуют марке по водонепроницаемости W20, что значительно превышает необходимый параметр W8.

Водопоглощение бетона, модифицированного добавкой на основе наноструктурированного углерода, по результатам испытаний составляет 3%.

Показатели пористости бетона выявили по кинетике их водопоглощения, которую определяли путем непрерывного и дискретного взвешивания предварительно высушенных образцов в процессе их водопоглощения.

Показатели среднего размера пор  $\bar{\lambda}$  и однородности размера пор в бетоне  $\alpha$ , определенные по кинетике во-

допоглощения путем непрерывного и дискретного взвешивания, для образцов состава 1.7 соответственно равны:  $\bar{\lambda}=0,7$  и  $\alpha=0,4$ ;  $\bar{\lambda}=1,25$  и  $\alpha=0,42$ . Объем открытых капиллярных пор бетона в серии образцов  $P_0$  составил 4%.

#### Заключение.

Установлен оптимальный процент ввода добавки на основе наноструктурированного углерода для исследуемого состава 1.7, который обеспечивает необходимые технологические свойства бетонной смеси и физико-механические характеристики бетона, – 0,5%.

Для модифицированного бетона прочность при сжатии составила  $f_c=60,4$  МПа, прочность при растяжении  $f_{ct}=2,62$  МПа, марка по водонепроницаемости достигла W20, марка по морозостойкости превышает F500.

Анализ кинетики набора прочности свидетельствует:

- для подвижных смесей (удобоукладываемость П4–П5) модифицирование пластифицирующей добавкой позволило увеличить прочность при сжатии в возрасте 28 сут по сравнению с бездобавочным составом на 44% (72,3 МПа).
- для жестких смесей модифицирование позволило достичь прочности при сжатии в возрасте: 7 сут, равное 58,6 МПа, а в 28 сут – 72,8 МПа, что выше прочности контрольного образца на 30 и 21% соответственно.

Экспериментально доказана эффективность введения в тяжелый конструкционный бетон пластифицирующей добавки на основе наноструктурированного углерода.

Подтверждена возможность снижения цемента (до 10%) при обеспечении прочности бетона выше контрольного образца на 14,9%.

#### Список литературы

1. Эльрефаи А.Э.М.М., Пудов И.А., Яковлев Г.И., Сеньков С.А., Бурьянов А.Ф. Комбинирование добавок различного генезиса для повышения эффективности модификации цементных бетонов // *Строительные материалы*. 2017. № 1–2. С. 26–30.
2. Лукутцова Н.П., Матвеева Е.Г., Пыкин А.А., Чудакова О.А. Наномодифицированный мелкозернистый бетон. *Надежность и долговечность строительных материалов, конструкций и оснований фундаментов: Материалы V Международной научно-технической конференции*. Волгоград. 23–24 апреля 2009 г. С. 166–170.
3. Ваучский М.Н. Направленное формирование упорядоченной надмолекулярной кристаллогидратной структуры гидратированных минеральных вяжущих // *Вестник гражданских инженеров*. 2005. № 2. С. 44–47.
4. Патент РФ на изобретение № 2233254. *Композиция для получения строительных материалов* / Пономарев А.Н., Ваучский М.Н., Никитин В.А., Захаров И.Д., Прокофьев В.К., Добрица Ю.В., Заренков В.А., Шнитковский А.Ф. Заявл. 26.10.2000. Опубл. 27.07.2004.
5. Урханова Л.А., Хардаев П.К., Лхасаранов С.А. Модифицирование цементных бетонов нанодисперсными добавками // *Строительство и реконструкция*. 2015. № 3. С. 167–175.
6. Урханова Л.А., Буянтуев С.Л., Лхасаранов С.А., Хмелев А.Б., Урханова А.А. Модификация цемента и бетона углеродными наноматериалами, полученными из угольного кека // *Строительные материалы*. 2017. № 1–2. С. 19–25.
7. Хрусталеv Б.М., Яглов В.Н., Ковалев Я.Н., Романюк В.Н., Бурак Г.А., Меженцев А.А., Гуриненко Н.С.

#### References

1. Elrefaei A.E.M.M., Pudov I.A., Yakovlev G.I., Senkov S.A., Buryanov A.F. Combining additives of various genesis for enhancing modification of concrete. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 1–2, pp. 26–30. (In Russian).
2. Lukutsova, N.P., Matveeva E.G., Pykin A.A., Chudakova O.A. Nanomodified fine-grained concrete. *Reliability and durability of building materials, structures and foundations of foundations: materials of the V International Scientific and Technical Conference*. Volgograd. 2009. April 23–24, pp. 166–170. (In Russian).
3. Vauchskiy M.N. Directional formation of an ordered supramolecular crystal hydrate structure of hydrated mineral binders. *Vestnik Grazhdanskikh Inzhenerov*. 2005. No. 2, pp. 44–47. (In Russian).
4. Patent of the Russian Federation for invention No. 2233254. *Kompozitsiya dlya polucheniya stroitel'nykh materialov* [Composition for the production of building materials] Ponomarev A.N., Vauchsky M.N., Nikitin V.A., Zakharov I.D., Prokofiev V.K., Dobritsa Yu.V., Zarenkov V.A., Shnitkovskiy A.F. Declared. 10.26.2000. Published 27.07.2004. (In Russian).
5. Urkhanova, L.A. Khardaev P.K., Lkhasaranov S.A. Modification of cement concretes with nanodispersed additives. *Stroitel'stvo i Rekonstruktsiya*. 2015. No. 3, pp. 167–175. (In Russian).
6. Urkhanova L.A., Buiantuev S.L., Lkhasaranov S.A., Khmelev A.B., Urkhanova A.A. Modification of cement and concrete with carbon nanomaterials obtained from coal cake. *Stroitel'nye Materialy* [Construction materials]. 2017. No. 1–2, pp. 19–25. (In Russian).
7. Khrustalev B.M., Yaglov V.N., Kovalev YA.N., Romanuk V.N., Burak G.A., Mezhenstev A.A., Gurinen-



- Наномодифицированный бетон // *Наука и техника*. 2015. № 6. С. 3–8.
- Гритель Г.Б., Глазкова С.В. Перспективы наноструктурированного бетона в строительстве // *Бетон и железобетон*. 2011. № 6. С. 40–44.
  - Бурмистров И.Н., Ильиных И.А., Мазов И.Н., Кузнецов Д.В., Юдинцева Т.И., Кусков К.В. Физико-механические свойства композитных бетонов, модифицированных углеродными нанотрубками // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 5. С. 80.
  - Патент № 2839 РБ, МПК В82В 3/00 *Установка для получения углеродных наноматериалов* / Жданок С.А., Крауклис А.В., Самцов П.П., Волжанкин В.М.; Опубл. 30.06.2006.
  - Жданок С.А. Нанотехнологии в строительном материальоведении: реальность и перспективы // *Вестник БНТУ*. 2009. № 3. С. 5–22.
  - Эберхардштайнер Й., Жданок С., Хрусталеv Б., Батяновский Э., Леонович С., Самцов П. Изучение влияния наноразмерных добавок на механическое поведение цементных блоков // *Наука и техника*. 2012. № 1. С. 52–55.
  - Patent 10010 RB, МПК SO1B31/00. Method of obtaining of carbon nanomaterial. Zhdanok S.A., Solntsev A.P., Krauklis A.V. Published 31.03.2005.
  - Eberhardsteiner J., Zhdanok S., Khroustalev B., Batsianouski E., Leonovich S., Samtsou P. Characterization of the influence of carbon nanomaterials on the mechanical behavior of cement stone // *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2011. Vol. 84. No. 4, pp. 697–704.
  - ko N.S. Nanommodified concrete. *Nauka i Tekhnika*. 2015. No. 6, pp. 3–8. (In Russian).
  - Gritel' G.B., Glazkova S.V. Prospects of nanostructured concrete in construction/ *Beton i Zhelezobeton*. 2011. No. 6, pp. 40–44. (In Russian).
  - Burmistrov I.N., Il'inykh I.A., Mazov I.N., Kuznetsov D.V., Yudin'tseva T.I., Kuskov K.V. Physico-mechanical properties of composite concrete modified with carbon nanotubes. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya*. 2013. No. 5, p. 80. (In Russian).
  - Patent №2839 RB, IPC B82B 3/00 *Ustanovka dlya polucheniya uglerodnykh nanomaterialov* [Apparatus for manufacturing carbon nanomaterials]. Zhdanok S.A., Krauklis A.V., Samtsov P.P., Volzhankin V.M. Published 30.06.2006.
  - Zhdanok S.A. Nanotechnologies in Building Materials Science: reality and prospects. *Vestnik BNTU*. 2009. No. 3, pp. 5–22. (In Russian).
  - Eberhardsteiner J., Zhdanok S., Khroustalev B., Batsianouski E., Leonovich S., Samtsou P. Study of influence of nano-size additives on mechanical behaviour of cement stone. *Nauka i Tekhnika*. 2012. No. 1, pp. 52–55. (In Russian).
  - Patent 10010 RB, МПК SO1B31/00. Method of obtaining of carbon nanomaterial. Zhdanok S.A., Solntsev A.P., Krauklis A.V. Published 31.03.2005.
  - Eberhardsteiner J., Zhdanok S., Khroustalev B., Batsianouski E., Leonovich S., Samtsou P. Characterization of the influence of carbon nanomaterials on the mechanical behavior of cement stone. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2011. Vol. 84. No. 4, pp. 697–704.

г. Веймар (Германия)  
12–14 сентября 2018 г.



F.A. Finger-Institut für Baustoffkunde | Bauhaus-Universität Weimar

Институт строительных материалов  
им. Ф.А. Фингера (FIB) университета  
Bauhaus-Universität г. Веймар (Германия)  
организует 20-й Международный конгресс  
по строительным материалам

Международный конгресс по строительным материалам IBAUSIL проводится в г. Веймаре с 1964 г. и за это время стал авторитетным форумом для научного обмена между исследователями университетов и промышленных предприятий с востока и запада.

### Основные темы конгресса

- Неорганические вяжущие вещества;
- Бетоны и долговечность бетонов;
- Стеновые строительные материалы / содержание сооружений / переработка материалов.

Официальные языки конференции – немецкий, английский

Заявки об участии с докладами в конгресс принимаются до **1 ноября 2017 г.**

Подробности вы найдете на сайте: [www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)

[www.ibausil.de](http://www.ibausil.de)