

DOI.org/10.5281/zenodo.2008672  
УДК 693.542.4

Е.Н. Полонина, С.Н. Леонович, Е.А. Коледа

ПОЛОНИНА ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА – аспирант, кафедра технологии строительного производства, e-mail: grushevskay\_en@tut.by

ЛЕОНОВИЧ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., профессор, иностранный академик РААСН, декан Строительного факультета, e-mail: sleonovich@mail.ru

КОЛЕДА ЕЛЕНА АЛЕКСАНДРОВНА – аспирант, кафедра технологии строительного производства, e-mail: elena\_koleda@bk.ru

*Белорусский национальный технический университет*  
Независимости пр-т, 65, Минск, Республика Беларусь, 220013

## Физико-механические характеристики нанобетона

**Аннотация:** Рассмотрено влияние пластифицирующей добавки, содержащей углеродный наноматериал и суперпластификатор, на физико-механические характеристики бетона. Установлено, что использование углеродных наноматериалов значительно изменяет микро- и наноструктуру бетонов. В результате того, что высокопрочный наноматериал является центром кристаллизации новообразований цементного камня, образуется упрочненная армированная микроструктура этого камня, что значительно повышает прочность бетона. А включение в состав бетонной смеси суперпластификатора приводит к более высокой и длительной пластификации, которая играет важную роль при производстве монолитных работ.

**Ключевые слова:** углеродный наноматериал, суперпластификатор, равномерное распределение, воздухоовлечение, нанобетон, прочность, водонепроницаемость, морозостойкость.

### Введение

Строительные материалы и конструкции, изготовленные из смеси цемента, песка, щебня и воды, уже не соответствуют требованиям, предъявляемым к современному строительству. Известно, что чем меньше водоцементное отношение (В/Ц), тем прочнее бетон. Теоретически для гидратации цемента достаточно  $V/C = 0,2$ , однако у такого бетона слишком низкая пластичность, поэтому на практике используются  $V/C = 0,3–0,5$  и выше. В то же время чрезмерное добавление воды, увеличивая подвижность бетона, в несколько раз снижает его прочность, поэтому в настоящее время широко используются различные добавки. Применение добавок позволяет существенным образом влиять на смеси, бетоны и растворы, придавая им специфические свойства.

Для регулирования свойств бетонной смеси наиболее часто применяются химические пластифицирующие добавки, а именно гиперпластификаторы на основе эфиров поликарбоксилата. Эти добавки обеспечивают стабильность и жизнеспособность бетонной смеси. Добавки на основе поликарбоксилата, которые применяются при производстве бетона, рассмотрены в [1–3, 6, 11, 13]. В этих источниках приведены химические свойства поликарбоксилатов, их воздействие на бетонную смесь, достоинства и недостатки добавок, а также перспективы их использования в строительстве зданий и сооружений.

В последние годы значительно повысился интерес к исследованию свойств и процессов получения и применения наноматериалов, спектр использования которых неуклонно расширяется. К наноматериалам относят объекты, один из характерных размеров которых лежит в интервале от 1 до 100 нм: нанопористые структуры, наночастицы, нанотрубки, нановолокна и наноленты, нанодисперсии (коллоиды), наноструктурированные поверхности и пленки, нанокристаллы и нанокластеры. Особый интерес представляют углеродные наноматериалы, основой которых является углерод. Модифицирование цементных бетонов углеродными наноматериалами показало высокую эффективность применения [5, 7–10, 12, 14].

Наномодифицирование находит все большее распространение, в то же время совместное влияние суперпластификатора и углеродных наноматериалов мало изучено и поэтому нуждается в детальном исследовании.

Цель данной работы: изучение влияния вводимой в бетон пластифицирующей добавки, содержащей углеродный наноматериал и суперпластификатор, на физико-механические характеристики бетонной смеси и бетона.

### Характеристики применяемых материалов

При проведении экспериментальных исследований мы применяли следующие материалы: вяжущее – портландцемент М500Д0 (Д20) с активностью:  $R_d = 33,3$  МПа; коэффициентом нормальной густоты 25, 25%; мелкий заполнитель – песок, с характеристиками, представленными в табл. 1. Крупный заполнитель – щебень гранитный фракцией 5–20 мм, его характеристики представлены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты испытаний мелкого заполнителя

Наименование параметра	Результаты испытаний
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1630
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2600
Содержание пылевидных и илстых частиц, %	0,21
Содержание глины в комках, %	0
Наличие органических примесей	Светлее эталона
Содержание вредных примесей	Нет

Таблица 2

Результаты испытаний крупного заполнителя

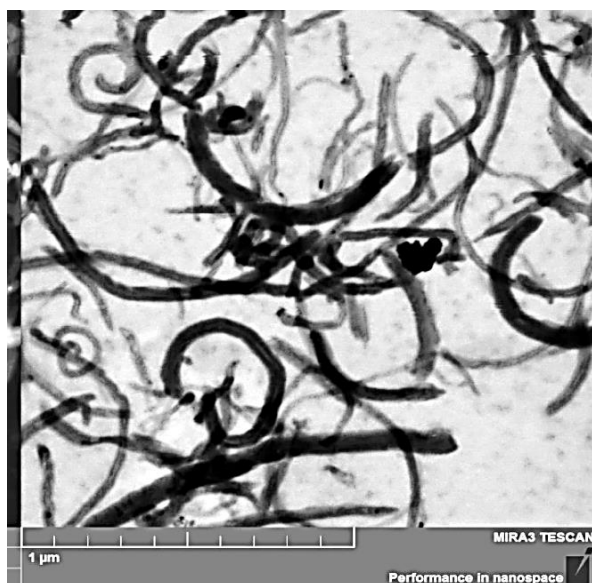
Наименование параметра	Результаты испытаний
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1400
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2660
Содержание пылевидных и илстых частиц, %	0,98
Содержание глины в комках, %	Отсутствует
Содержание зерен пластинчатой и лещадной	19,0

Пластифицирующая добавка в бетон [4, 15], состоящая из наноуглеродного материала и суперпластификатора, с характеристиками, представленными в табл. 3.

Электронные фотографии СЭМ (сканирующая электронная микроскопия) и ПЭМ (просвечивающая электронная микроскопия) образцов углеродного наноматериала, входящего в состав пластифицирующей добавки, представлены на рисунках 1 и 2.

**Характеристики пластифицирующей добавки**

Наименование показателя	Норма показателя
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 °С рН	7,0±1
Содержание хлор-ионов, %, не более	0,05



**Рис. 1. СЭМ-фотография образца ультрадисперсной фракции порошкообразного УНМ**



**Рис. 2. ПЭМ-фотография образца ультрадисперсной фракции УНМ**

**Методика экспериментальных исследований**

Получение бетонной смеси: дозируются крупный и мелкий заполнители, цемент и сухие добавки – сульфоалюминатная добавка и микрокремнезем (сухие добавки были использованы только при приготовлении бетона состава 1) и проходит перемешивание сухих компонентов. Далее, при постоянном перемешивании, добавляется вода затворения и пластифицирующая добавка, содержащая в своем составе углеродный наноматериал и суперпластификатор. Количество воды бралось в зависимости от необходимой марки по удобоукладываемости бетонной смеси.

Для исследования были подобраны и изготовлены следующие составы бетона:

- состав 1 – самоуплотняющийся тяжелый бетон марки по удобоукладываемости Р6;
- состав 2 – тяжелый бетон марки по удобоукладываемости П4–П5.

**Исследование самоуплотняющегося тяжелого бетона марки по удобоукладываемости Р6**

Для исследования самоуплотняющегося тяжелого бетона (состав 1) были изготовлены составы двух марок по удобоукладываемости П1 и Р6. В составах варьировалось количество пластифицирующей добавки (0,8 и 1% от массы цемента). Составы и расход материалов представлены в табл. 4.

Составы и расход материалов бетона

Состав 1, №	Показатель удобоукладываемости	Расход материалов, кг на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси							
		Цемент, кг	Песок, кг	Щебень фр. 5–10 мм, кг	Пластифицирующая добавка		Расширяющая добавка, кг	Микрокремнезем, кг	Вода, кг
					%	кг			
1.1	Р6 (РК более 62 см)	485	800	825	–	–	40	45	320
1.2		485	800	825	1	5,7	40	45	190
1.3		485	800	825	0,8	4,56	40	45	205
1.4	П1 (ОК = 1–4 см)	485	800	825	–	–	40	45	200
1.5		485	800	825	1	5,7	40	45	130

Методика определения и результаты испытания влияния пластифицирующей добавки, содержащей в своем составе углеродный наноматериал и суперпластификатор, на технологические характеристики самоуплотняющегося бетона представлены на рисунках 3–5 и в табл. 5.

*Определение удобоукладываемости по показателю расплыва конуса.* Бетонной смесью заполняли конусную форму, предназначенную для испытаний на осадку конуса. Далее конусную форму поднимали вертикально, измеряя интервал времени расплыва бетонной смеси Т500 от начала подъема формы до получения диаметра расплыва, равного 500 мм. Величину расплыва бетонной смеси определяли как среднее арифметическое значений максимального диаметра ее расплыва и диаметра расплыва во взаимно перпендикулярном направлении.



Рис. 3. Определение удобоукладываемости бетонной смеси по расплыву конуса.

Определение проходимости бетонной смеси с применением Л-образного ящика, заключалось в прохождении бетонной смеси через узкие отверстия, в том числе между арматурными стержнями, без ее расслоения и без нарушения непрерывности потока.

*Определение стойкости бетонной смеси к расслоению.* Сущность метода заключается в отборе проб бетонной смеси и их выдерживании в течение 15 мин с последующим указанием наличия водоотделения. Верхнюю часть бетонной смеси распределяли на сите с отверстиями в виде квадратов со стороной 5 мм. По истечении 2 мин после распределения бетон-

ной смеси на сите фиксировали массу бетонной смеси, прошедшей через сито. Расслаиваемость рассчитывали как отношение первоначального количества бетонной смеси на сите к количеству бетонной смеси, прошедшей через сито.



**Рис. 4. Определение проходимости бетонной смеси с применением L-образного ящика**



**Рис. 5. Определение стойкости бетонной смеси к расслоению методом ситового анализа.**

Введение суперпластификатора в состав пластифицирующей добавки обеспечивает высокую сохраняемость бетонной смеси, что дает возможность ее использования в монолитном строительстве и при продолжительном транспортировании.

Как свидетельствуют результаты табл. 5, сохраняемость удобоукладываемости в 120 мин обеспечивается только при введении пластифицирующей добавки. Добавка приводит к снижению водоцементного отношения с 0,66 до 0,2, обеспечивая хорошую удобоукладываемость смеси, что, в свою очередь, гарантирует высокую скорость твердения и значительное повышение прочности бетона (табл. 6). Проходимость бетонной смеси при испытании в L-образном коробе соответствует требованиям по вязкости VS 2, а стойкость бетонной смеси к расслоению – показателю SR1 при представленных количествах добавки.

**Результаты испытания самоуплотняющейся бетонной смеси (составы 1.1–1.3)**

Показатели свойств бетонной смеси	Значение показателей для составов		
	1.1	1.2	1.3
Водоцементное отношение	0,66	0,18	0,21
Расход цемента, кг/ м <sup>3</sup>	485	485	485
Подвижность бетонной смеси, ОК, см	63	64	62
Марка по удобоукладываемости	P6		
Сохраняемость удобоукладываемости, ч	1	2	2
Средняя плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	2220	2255	2330
Вязкость бетонной смеси по времени T500, с	1,54	2,0	4,0
Проходимость бетонной смеси испытанием в L-образном коробе	0,64	0,89	0,2
Стойкость бетонной смеси к расслоению, %	10,4	8,0	2,0

Исходя из полученных характеристик, составы 1.2 и 1.3 могут применяться для заливки конструкций сложной формы, в том числе, с густым армированием, вертикальных бетонных элементов зданий и сооружений.

Оценку качества получаемого бетона выполняли на образцах-кубах размерами 10×10×10.

Таблица 6

**Результаты испытания образцов бетона составов 1.1–1.5**

Состав 1, №	В/Ц	РК (ОК), см	Прочность на сжатие, f <sub>c</sub> , МПа	
			7 сут	28 сут
1.1	0,66	63	19,9	33,1
1.2	0,39	64	24,4	37,1
1.3	0,42	62	31,1	50,5
1.4	0,41	3	35,6	65,5
1.5	0,27	4	52,7	82,4

Прочность на сжатие бетона зависит от концентрации пластифицирующей добавки в бетонной смеси удобоукладываемостью P6. С ее увеличением прочность при сжатии в возрасте 7 и 28 сут увеличивается с 19,9 и 31,1 МПа на 22,6 и 12% при введении 1% пластифицирующей добавки, и на 56,6 и 52,5 % соответственно – при вводе 0,8%. Это может быть связано с тем, что углеродные нанотрубки обладают большим отношением длины к диаметру, и при увеличении содержания в смеси могла произойти их агломерация в водной среде, что привело к снижению прочностных показателей и, возможно, – к неравномерному распределению в бетоне.

Для жестких бетонных смесей составов 1.4 и 1.5 модифицирование пластифицирующей добавкой позволило достичь прочности на сжатие в возрасте 28 сут – 82,4 МПа, что соответствует прочности бетона на сжатие класса С 50/60 и выше прочности контрольного образца на 25%.

#### **Исследование тяжелого бетона марки по удобоукладываемости П4–П5.**

Для исследования тяжелого бетона (состав 2) были изготовлены составы двух марок по удобоукладываемости: П1 и П4–П5. В составах варьировалось количество пластифицирующей добавки (0,6 и 0,8% от массы цемента). Оценку эффективности пластифицирующей добавки на технологические свойства бетонной смеси проводили на составах, представленных в табл. 7.

Таблица 7

Состав и результаты испытания бетонной смеси

Состав 2, №	Показатель удобоукладываемости	Расход материалов, кг на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси						В/Ц	ОК, см	Сохраняемость удобоукладываемости, ч	Средняя плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>
		Цемент, кг	Песок, кг	Щебень фр. 5–20 мм, кг	Пластифицирующая добавка		Вода, кг				
					%	кг					
2.1	П4–П5 (ОК=16–20; 21–25 см)	400	820	102	–	–	200	0,5	22	0,5	2376
2.2		400	820	102	0,8	3,2	120	0,3	23	3	2250
2.3		400	820	102	0,6	2,4	180	0,45	20	1,5	2256
2.4	П1 (ОК=1–4 см)	400	820	102	–	–	155	0,39	2	–	–
2.5		400	820	102	1	3,2	110	0,28	3	–	–

Оценку качества получаемого бетона выполняли на образцах 10×10×10 см, результаты представлены в табл. 8.

Таблица 8

Результаты испытания образцов бетона составов 1–5

Состав, №	Прочность на сжатие, МПа	
	7 сут	28 сут
1	25,2	49,2
2	35,7	51,9
3	39,9	57,8
4	46,8	59,5
5	57,7	64,7

Исследования показали, что оптимальное количество исследуемой добавки для подвижных смесей составляет 0,8%. Это количество обеспечивает сохраняемость удобоукладываемости в 180 мин и понижение водоцементного отношения с 0,5 до 0,3, а также повышение прочности на сжатие в раннем возрасте на 41%. Зафиксировано уменьшение объемной массы образцов, возможно связанное с повышением воздухоовлечения бетонной смеси при перемешивании.

Для жестких смесей модифицирование пластифицирующей добавкой позволило снизить водоцементное отношение до 0,28 и увеличить прочность в 7 и 28 сут на 23 и 8% соответственно.

Исходя из результатов исследования технологических свойств бетонной смеси и прочности на сжатие бетона, состав 2.2 оказался оптимальным и был использован нами для проведения изложенных ниже видов испытаний.

1. *Определение прочности на осевое растяжение.* Для определения прочности на осевое растяжение бетонных образцов (табл. 9) были изготовлены образцы призмы квадратного сечения размерами 70×70×280 мм.

Таблица 9

**Определение прочности на осевое растяжение**

Наименование объекта испытаний	Состав 2.2
Масштабный коэффициент	0,85
Разрушающая нагрузка, Н	16550
	16300
Площадь рабочего сечения образца, мм <sup>2</sup>	4900
	4900
Поправочный коэффициент	1
	1
Прочность образца на осевое растяжение, МПа	2,87
	2,83
Прочность бетона в серии образцов, МПа	2,85
Требуемая прочность бетона на растяжение при испытании кубов (при подборе состава), МПа	2,1

2. *Определение морозостойкости.* Для определения марки по морозостойкости нами использован ускоренный (третий) метод определения морозостойкости при многократном замораживании в 5-процентном водном растворе хлорида натрия при температуре минус (50±2) °С по ГОСТ 10060-2012.

3. *Определение водонепроницаемости.* 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. 10).

Таблица 10

**Определение водонепроницаемости косвенным методом**

Номер состава	Нормированные значения показателей	Фактическое значение показателей для каждого образца, с			
		1 2	3 4	5 6	Ср. (3 и 4)
2.2	W6 6,6–9,4 с/см <sup>3</sup>	17,0 60,4	64,3 127,4	130,2 130,2	95,8

Таблица 11

**Сравнение физико-механических характеристик бетона**

Состав 2, №	Расход материалов, кг на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси						ОК, см	Прочность на сжатие, МПа		Прочность на осевое растяжение, МПа	Марка по морозостойкости	Марка по водонепроницаемости
	Цемент, кг	Песок, кг	Щебень фр. 5–20 мм, кг	Пластифицирующая добавка, %	Динамик СП-180, %	Вода, кг		7 сут.	28 сут.			
2.1	400	820	1020	–	–	200	22	25,2	49,2	–	–	–
2.2	400	820	1020	0,8	–	120	23	35,7	51,9	2,85	> F100	W20
2.6	400	820	1020	–	0,65	180	22	33,9	40,8	–	F100	W6

Для подтверждения того, что именно наноструктуры в добавке влияют на физико-механические характеристики бетона, произвели сравнение с добавкой аналогичного класса



эффективности – суперпластификатором Линамикс СП-180 (состав 2.6). Обобщенные результаты испытаний отображены в табл. 11.

По результатам испытаний прочность бетона состава 2.2 на осевое растяжение составила 2,85 МПа. При определении марки по морозостойкости для состава 2.2 потеря прочности составила 0,7% (по нормативам – 5%). Данные сведения говорят о более высокой марке по морозостойкости, чем у сравниваемого состава 2.6. При определении марки по водонепроницаемости выяснилось, что образцы состава 2.2 соответствуют марке по водонепроницаемости W20, что значительно превышает параметр W6, соответствующий составу 2.6.

### Заключение

Итак, нами установлен оптимальный процент ввода исследуемой пластифицирующей добавки, который обеспечивает необходимые технологические свойства бетонной смеси и физико-механические характеристики бетона – 0,8% от массы цемента. Использование пластифицирующей добавки, содержащей в своем составе углеродный наноматериал и суперпластификатор, позволяет получить двойное действие – улучшение технологических свойств бетонной смеси за счет пластифицирующего эффекта и увеличение прочностных показателей бетона из-за высокого уровня энергии поверхности частиц углеродного наноматериала. Анализ полученных данных показывает, что применение пластифицирующей добавки позволяет не только увеличить прочностные характеристики, но и марку по морозостойкости и водонепроницаемости.

Экспериментально доказано, что для жестких бетонных смесей данная добавка приводит к увеличению прочности до 25% по сравнению с контрольным образцом. Выявленные характеристики бетонной смеси и бетона могут найти применение в технологии монолитного бетонирования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барабанщиков Ю.Г., Комаринский М.В. Суперпластификатор С-3 и его влияние на технологические свойства бетонных смесей // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 6. С. 58–69.
2. Вовк А.И. Добавки на основе отечественных поликарбонатов // Технологии бетонов. 2013. № 4. С. 13–15.
3. Гордеев Е.В. Рядовой бетон. Есть ли выход? // ЖБИ и конструкции. 2011. № 3. С. 74–81.
4. Жданок С.А., Крауклис А.В., Самцов П.П., Волжанкин В.М. Установка для получения углеродных наноматериалов: пат. 2839 РБ, МПК В82В 3/00; опубл. 30.06.2006.
5. 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.
6. Камалова З.А., Рахимов Р.З., Ермилова Е.Ю., Стоянов О. Суперпластификаторы в технологии изготовления тяжелого бетона // Вестник Казанского технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 8. С. 148–152.
7. Леонович С.Н., Хрусталева Б.М., Яковлев Г.И., Полянских И.С., Карпова Е.А., Лахайн О., Эберхардштайнер Й., Скрипкинас Г., Пудов И.А., Карпова Е.А. Структурная модификация новообразований в цементной матрице с использованием дисперсии углеродных нанотрубок и нанокремнезема // Наука и техника. 2017. Т.16, № 2. С. 94–103.
8. Мазов И.Н., Бурмистров И.Н., Ильиных И.А., 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. 80–87.
9. Пудов И.А., Пислегина А.В., Лушникова А.А., Первушин Г.Н., Яковлев Г.И., Хасанов О.Л., Тулаганов А.А. Проблемы диспергации углеродных нанотрубок при модификации цементных бетонов // Сборник трудов Второй междунар. конф. «Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства». Ижевск, 2010. С. 34–38.
10. Сеницын Н., Дубровская Л. Прекрасный век для нано-тэк // Вестник строительного комплекса. 2007. № 8. С. 50–51.

11. Тринкер А.Б. Нанотехнология ПАВ // Нанотехнологии в строительстве. 2018. Т. 10, № 1. С. 91–104.
12. Урханова Л.А., Хардаев П.К., Лхасаранов С.А. Модифицирование цементных бетонов нанодисперсными добавками // Строительство и реконструкция. 2015. № 3. С. 167–175.
13. Холмберг Л., Ханссон М., Энгстранд Й. Новые суперпластификаторы на основе поликарбоксилата // Материалы конференции BALTIMIX–2006. URL: <https://www.allbeton.ru/forum/topic9309.html> – 25.09.2018.
14. Шейда О.Ю., Батяновский Э.И. О производственной апробации новой химической добавки, содержащей углеродный наноматериал // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства: материалы науч.-метод. конф., 27–28 мая 2014. В 2 ч. Ч. 2. Минск: БНТУ, 2015. С. 7–19.
15. Эберхардштайнер Й., Жданок С., Хрусталева Б., Батяновский Э., Леонович С., Самцов П. Изучение влияния наноразмерных добавок на механическое поведение цементных блоков // Наука и техника. 2012. № 1. С. 52–55.

THIS ARTICLE IN ENGLISH SEE NEXT PAGE

## Building Materials and Products

DOI.org/10.5281/zenodo.2008672

Polonina E., Leonovich S., Koleda E.

ELENA POLONINA, Postgraduate, e-mail: grushevskay\_en@tut.by

SERGEI LEONOVICH, Doctor of Technical Sciences, Professor, Foreign Academician RAACS, Dean of the Faculty of Civil Engineering, e-mail: sleonovich@mail.ru

ELENA KOLEDA, Postgraduate, e-mail: elena\_koleda@bk.ru

Department of Technology of Construction Production

*Belarussian National Technical University*

65 Independence Av., Minsk, Republic of Belarus, 220013

## Physical and mechanical properties of nano concrete

**Abstract:** Consideration is being given to the effect of a plasticizing additive containing carbon nanomaterial and a superplasticizer on physical and mechanical properties of concrete. It was found that the use of carbon nanomaterials (CNM) significantly changes the micro and nanostructure of concrete. Due to the fact that the high-strength nanomaterial is the center of crystallization of the cement stone neoplasms, a hardened reinforced microstructure of this stone is formed, which significantly increases the strength of concrete. Inclusion of a superplasticizer in the concrete mix leads to a higher and more prolonged plasticization, which plays an important role in the monolithic concrete works.

**Keywords:** carbon nanomaterial, superplasticizer, uniform distribution, air entrainment, nano concrete, strength, water resistance, frost resistance.

## REFERENCES

1. Barabanshchikov Yu.G., Komarinsky M.V. Superplasticizer C-3 and its influence on the technological properties of concrete mixes. *Construction of unique buildings and structures*. 2014; 6:58–69.
2. Vovk A.I. Additives based on domestic polycarboxylates. *Concrete Technology*. 2013;4:13–15.
3. Gordeev E.V. Ordinary concrete. Is there a way out? *Concrete products and structures*. 2011;3:74–81.
4. Zhdanok S.A., Krauklis A.V., Samtsov P.P., Volzhankin V.M. Installation for the production of carbon nanomaterials. Patent 2839 RB, IPC B82B 3/00 /; publ. 06/30/2006.
5. Zhdanok S.A., Polonina E.N., Leonovich S.N., Khrustalev B.M., Koleda E.A. Increasing the strength of concrete with a plasticizing additive based on nanostructured carbon. *Construction materials*. 2018;6:67–72.
6. Kamalova Z.A., Rakhimov R.Z., Ermilova E.Y., Stoyanov O. Superplasticizers in the technology of manufacturing heavy concrete. *Vestnik of Kazan Technologist. Univ.* 2013(16);8:148–152.
7. Leonovich S.N., Khrustalev B.M., Yakovlev G.I., Polyanskiy I.S., Karpova E.A., Lakhain O., Eberhardsteiner Y., Skripkinas G., Pudov I.A. Structural modification of tumors in the cement matrix using carbon nanotube dispersion and nanosilica. *Science and Technology*. 2017.(16);2:94–103.
8. Mazov I.N., Burmistrov I.N., Ilinykh I.A., Kuznetsov D.V., Yudinseva T.I., Kuskov K.V. Physical and mechanical properties of composite concrete modified by carbon nanotubes. *Modern Problems of Science and Education*. 2013;5:80–87.
9. Pudov I.A., Pislegina A.V., Lushnikova A.A., Pervushin G.N., Yakovlev G.I., Khasanov O.L., Tulaganov A.A. Problems of carbon nanotubes dispersion when modifying cement concretes. *Proceedings of the Second Intern. Conf. Nanotechnology for sustainable construction*. Izhevsk, 2010, p. 34–38.
10. Sinitsyn N., Dubrovskaya L. A beautiful century for nano-tech. *Bulletin of the building complex*. 2007;8:50–51.
11. Trinker A.B. Nanotechnology surfactants. *Nanotechnologies in construction*. 2018(10);1:91–104.

12. Urkhanova L.A., Khardaev P.K., Lhasaranov S.A., Modification of cement concretes with nano-dispersed additives. *Construction and Reconstruction*. 2015;3:167–175.
13. Holmberg L., Hansson M., Engstrand Y. New superplasticizers based on polycarboxylate. Report at the BALTIMIX-2006 conference. URL: <https://www.allbeton.ru/forum/topic9309.html> – 25.09.2018.
14. Sheida O.Yu., Batianovsky E.I. On the production testing of a new chemical additive containing carbon nanomaterial. Modern problems of introducing European standards in the field of construction: materials scientific-method. Conf., May 27–28, 2014. At 2 pt. Part 2. Minsk: BNTU, 2015, p. 7–19.
15. Eberhardsteiner J., Zhdanok S., Khrustalev B., Batianovsky E., Leonovich S., Samtsov P. Study of the effect of nanoscale additives on the mechanical behavior of a cement stone. *Science and Technology*. 2012;1:52–55.