

УДК 691.5

ВЛИЯНИЕ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТА И ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Е.Н. Полонина

Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

e-mail: grushevskay_en@tut.by

В статье представлены результаты исследований комплексной добавки, содержащей в своем составе пластифицирующую добавку на основе наноструктурированного углерода и водный золь нанокремнезема, на свойства цементных образцов. С использованием стандартизованных методик испытаний экспериментально подтверждена эффективность комплексной добавки, выразившаяся в росте: прочности на сжатие от 25 до 50%, прочности при изгибе до 55%.

Ключевые слова: водный золь нанокремнезема, углеродные нанотрубки, суперпластификатор, цемент, прочность.

INTEGRATED NANODISPERSION SYSTEM FOR MODIFICATION OF HEAVY CONCRETE

E. Polonina

Belarusian National Technical University, Republic of Belarus

e-mail: grushevskay_en@tut.by

The article presents the results of studies of a complex additive containing in its composition a plasticizing additive based on nanostructured carbon and an aqueous sol of nanosilica, on the properties of cement samples. Using standardized test methods, the effectiveness of a complex additive has been experimentally confirmed, expressed in growth: compressive strength from 25 to 50%, bending strength up to 55%.

Keywords: aqueous sol of nanosilica, carbon nanotubes, superplasticizer, cement, strength.

В настоящее время в области строительного материаловедения развивается новое направление – наномодифицирование (наноинжиниринг) бетонов [1-5]. Среди наночастиц разного химического состава TiO_2 , Fe_2O_3 , CuO , CaCO_3 и др. с учетом эффективности, себестоимости синтеза, возможности стабилизированного однородного ввода в бетонную смесь и наличия действующих крупных производств наночастицы SiO_2 и наноуглерода стали наиболее применяемыми. Результатам повышения механических, физических и структурных характеристик портландцементного бетона и цементного камня посвящено большинство публикаций по строительным материалам [6-19]. Отсутствие комбинации применения наночастиц гидротермального золя кремнезема SiO_2 и углеродных нанотрубок (МУНТ), а также применение их в диапазоне малых доз порядка 10^{-5} – 10^{-3} масс. % по цементу стала актуальной задачей, которую решал автор.

Для оценки достоверности рабочей гипотезы, которая состоит в том, что введение в цементный бетон наномодификаторов, характеризующегося своеобразием структурного строения, высокой дисперсностью и связанным с ней значительным энергетическим потенциалом, будет способствовать повышению темпа роста и уровня его прочности и плотности, а на этой основе – всей совокупности физико-технических свойств, были проведены исследования на цементе и цементном камне.

Испытания были проведены на добавках состава, которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. – Состав сырьевой смеси

Номер состава образца	Состав сырьевой смеси, мас. %		Количество вводимой добавки от массы цемента, %	В/Ц	Состав добавки		
	Цемент	Добавка			Массовая доля СП к цементу, %	Массовая доля тв. нанокремнезема к цементу, %	Массовая доля тв. SiO ₂ к цементу, %
29	99,2	0,8	-	0,26	-	-	-
30			0,8	0,21	0,4	-	-
31			0,8	0,21	0,4	-	0,000 006
32			0,8	0,21	0,4	0,000 4	-
33			0,8	0,21	0,4	0,000 4	0,000 006

Добавки, в количестве 0,8% от массы цемента, предварительно смешивали с водой затворения и вводили в цемент, интенсивно перемешивая в течении 5 мин. Количество воды затворения подбирали таким образом, чтобы во всех случаях получить тесто нормальной густоты. Из цементного теста нормальной густоты (Кнг=0,26 для состава №29 и Кнг=0,21 для составов №30-33) изготавливали образцы – балочки размерами 40x40x160 мм, которые формовали вручную и уплотняли на вибрационном столе.

В исследованиях использованы:

- в качестве вяжущего - портландцемент ПЦ 500 Д0 по ГОСТ 10178-85 ОАО «Белорусского цементного завода» со следующим минеральным составом, % массы: C₃S–58.31, C₂S – 18.38, C₃A–8.01, C₄AF – 10.64;

- пластифицирующая добавка на основе наноструктурированного углерода с массовой долей сухого остатка не менее 37%, плотностью 1,0-1,2 г/см³, с водородным показателем pH 15% водного раствора при 20°C- 6,9-7,1 и содержанием хлор-ионов не более 0.05%;

- гидротермальный нанокремнезем со следующими характеристиками: содержание SiO₂ в золе -120 г/дм³, плотность ρ=1075 г/дм³, общее солесодержание– 1050 мг/дм³, pH=9,2, удельная площадь поверхности 500 м²/г и средний диаметр первичных наночастиц SiO₂ 5,5 нм;

- вода для затворения соответствовала требованиям СТБ 1114-98 и ГОСТ 23732-2011.

Методики экспериментальных исследований соответствовали положениям ГОСТ 310.1-5-76(88). Определение нормальной густоты цементного теста, сроков схватывания и равномерность изменения объема цемента осуществлялось в соответствии с ГОСТ 310.3-76.

Нормальную густоту цементного теста характеризуют количеством воды затворения, выраженным в процентах от массы цемента. Экспериментальные данные коэффициента нормальной густоты (Кнг) представлены в таблице 2:

Таблица 2. – Коэффициента нормальной густоты

Номер образца	Наименование образца	Кнг, %	Количество вводимой добавки относительно массы цемента, %
29	СМ	0,26	-
30	СМ- SP50	0,21	0,8
31	СМ- NS8 SP50	0,21	0,8
32	СМ- NC50 SP50	0,21	0,8
33	СМ- NC50 NS8 SP50	0,21	0,8

Из полученных данных следует, что введение в цемент добавок, содержащей в своем составе суперпластификатор на поликарбоксилатной основе и наноматериал, не изменяет величин коэффициента нормальной густоты вяжущего содержащего только суперпластификатор.

Сроки схватывания цементного теста определяли с помощью прибора Вика на тесте нормальной густоты. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Изменение сроков схватывания

Номер образца	Наименование образца	Сроки схватывания, мин (час)	
		начало	конец
29	CM	150	355
30	CM- SP50	Более 5 часов	-
31	CM- NS8 SP50	400	Более 5 часов
32	CM- NC50 SP50	300	Более 5 часов
33	CM- NC50 NS8 SP50	340	Более 5 часов

При испытании на равномерность изменения объема, цемент, содержащий исследуемые добавки в количестве 0,8% от массы цемента, во всех случаях показал полное постоянство объема.

Проведение механических испытаний образцов на сжатие и изгиб производилось с помощью испытательной машины Testing 2.1005 (фирма "TESTING Bluhm& FeuerherdtGmbH", Германия).

Исследования выполнены на цементных образцах составов №29-33, твердеющих в нормальных условиях, после достижения ими 28 суточного возраста. Результаты исследований цементного камня приведены на рисунках 3.2 и 3.3.

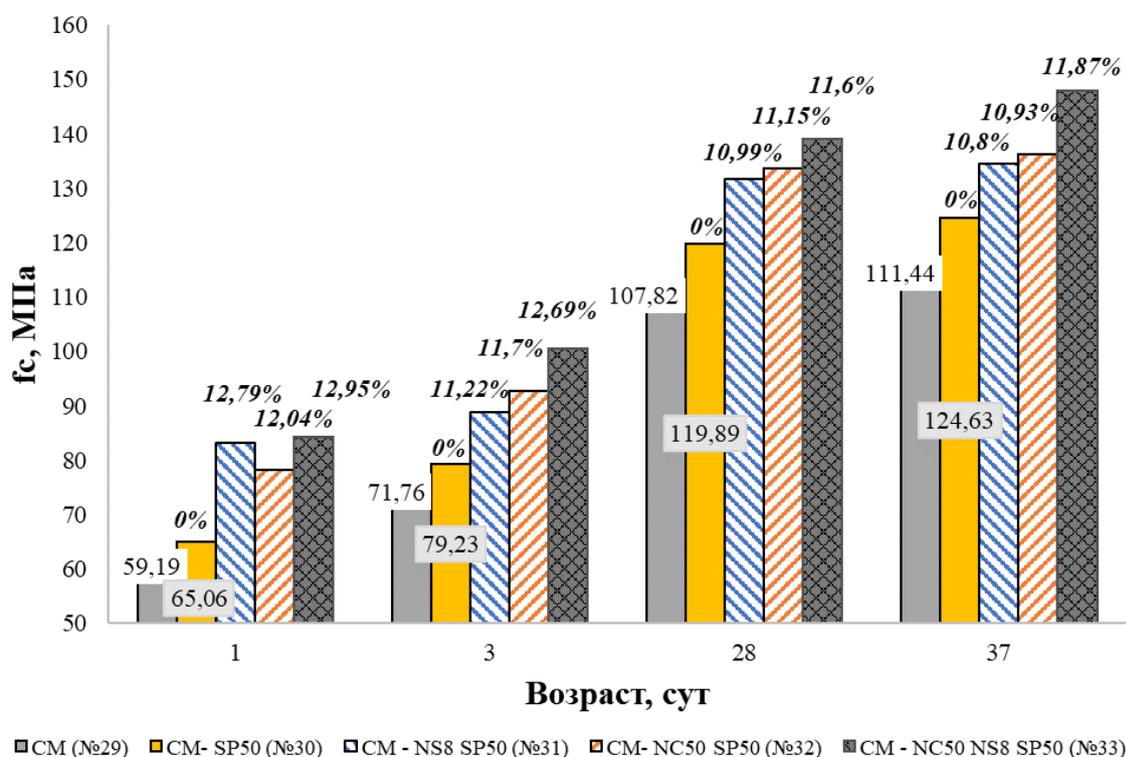


Рисунок 1. – Прочность на сжатие в зависимости от возраста цементных образцов (на графике указан % увеличения прочности модифицированных образцов нанодобавками, относительно образца, содержащего только суперпластификатор)

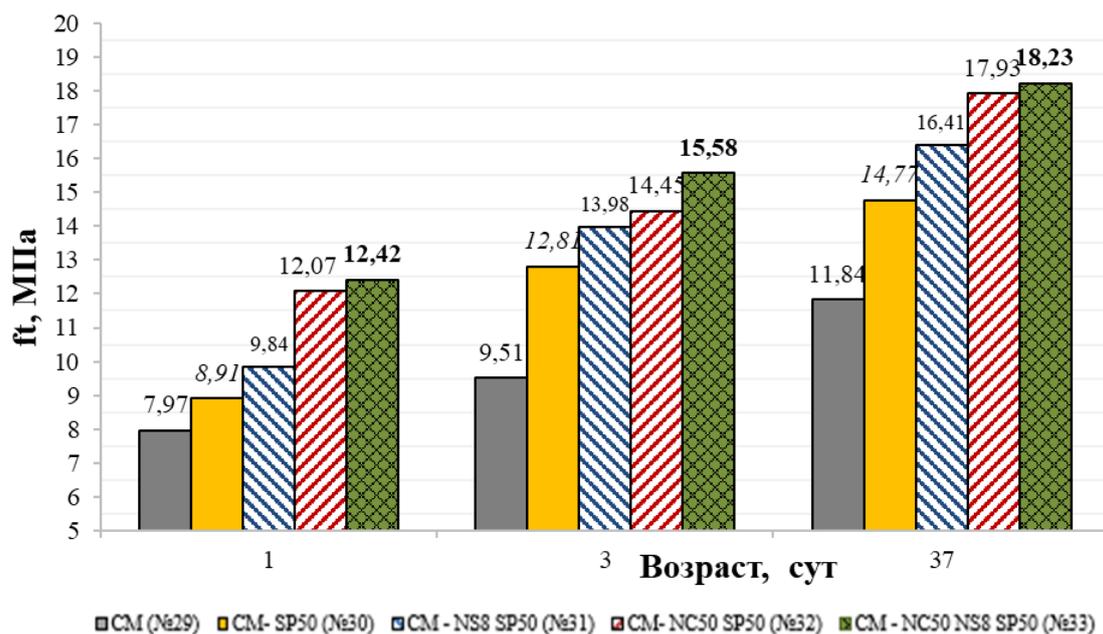


Рисунок 2. – Прочность при изгибе в зависимости от возраста цементных образцов

Выводы. Установлено увеличение прочности при сжатии между контрольным образцом ЦК и модифицированными образцами: SiO₂, МУНТ, (SiO₂ + МУНТ). Прирост прочности достигал в раннем возрасте 1, 3сут - 13 и 12,7 %, в возрасте 37сут - 11,9 %, и был максимален в случае применения комбинации наночастиц (SiO₂ + МУНТ). Положительная разница прочности при изгибе относительно контроля была максимальной для образца с комплексной добавкой (SiO₂ + МУНТ+СП) и достигала в возрасте 1, 3сут -39,6 и 21,6 %, в возрасте 37 сут -23,4 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sobolev, K. Engineering of SiO₂ Nanoparticles for Optimal Performance in Nano Cement-Based Materials/ K. Sobolev [et al.] // Nanotechnology in Construction 3. – 2009. – pp. 139-148.
2. Sobolev, K. How Nanotechnology Can Change the Concrete World / K. Sobolev, M. Ferrada Gutierrez // American Ceramic Society Bulletin, 2009. – pp. 113-116.
3. Sobolev, K. How Nanotechnology Can Change the Concrete World / K. Sobolev, M. Ferrada Gutierrez // American Ceramic Society Bulletin, 2009. – pp. 117-120.
4. Sobolev, K., Torres-Martinez L.M. Nanomaterials and nanotechnology for high-performance cement composites/ K. Sobolev, I. Flores, R. Hermosillo, L. M. Torres-Martínez // Proceedings of ASI Session on «Nanotechnology Concrete: Recent Developments and Future Perspectives», 2006. – pp. 117-120.
5. Sanchez, F. Nanotechnology in concrete – A review/ F. Sanchez, K. Sobolev// Construction and Building Materials. –2010. – Vol. 24, №5. – pp. 2060–2071.
6. Гуриненко, Н.С. Технология и свойство бетона с полифункциональной добавкой, содержащей ультрадисперсный микрокремнезем: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05 / Н.С. Гуриненко; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2020. – 25с.
7. Witkowski H. Air purifying pavement: development of photocatalytic concrete blocks/ H. Witkowski [et al.] // Applied Sciences . –2019. –Vol. 9, № 9. – p. 1735.
8. Zhang, P. Influence of nano-SiO₂ on properties of fresh and hardened high performance concrete: A state-of-the-art review/ P. Zhang, J. Wan, K. Wang, Q.Li// Construction and Building Materials. – 2017. – Vol. 148, № 1. – pp. 648–658.

9. Zhang P. Durability of Steel Fiber-Reinforced Concrete Containing SiO₂ Nano-Particles / P. Zhang [et al.] // *Materials*. –2019. –Vol. 12, № 13. – pp.2184.
10. Рябчиков, П.В. Технология и физико-технические свойства тяжелого бетона, модифицированного углеродными наноматериалами: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.23.05 / П.В. Рябчиков; Белорусский национальный технический университет. – Минск, 2017. – 28с.
11. Singh, L.P. Studies on early stage hydration of tricalcium silicate incorporating silica nanoparticles: part II / L.P. Singh [et al.] // *Construction and Building Materials* . –2016. –Vol. 2, № 1. – pp.943-949.
12. Kiran Kumar, N.L.N. Effects of nano silica on the strengths of geopolymer concrete cured at ambient temperature/N.L.N. Kiran Kumar, K.V.S. Gopala Krishna Sastry // *International Journal of Civil Engineering and Technology*. –2017. –Vol. 8, № 8. – pp.437-444.
13. R.B. Ardalani, N. Jamshidi, H. Arabameri, A. Joshaghani, M. Mehrinejad, P. Sharafi. Enhancing the permeability and abrasion resistance of concrete using colloidal nano-SiO₂ oxide and spraying nanosilicon practices / R.B. Ardalani [et al.] // *Construction and Building Materials*. –2017. –Vol. 146. – pp.128-135. Khaloo, A. Influence of different types of nano-SiO₂ particles on properties of high-performance concrete/ A. Khaloo, M.H. Mobini, P. Hosseini. // *Construction and Building Materials*. –2016. –Vol. 113. – pp.188-201.
14. Potapov, V.V. Obtaining sols, gels and mesoporous nanopowders of hydrothermal nanosilica / V.V. Potapov, R. Fediuk, D.S. Gorev // *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. –2020. –Vol. 94, № 3. – pp.681–694.
15. Flores-Vivian, I. The effect of SiO₂ nanoparticles derived from hydrothermal solutions on the performance of portland cement based materials/ I. Flores-Vivian [et al.] // *Frontiers of Structural and Civil Engineering* . –2017. –Vol. 11. – pp. 436–445.
16. Shah, et al. Highly-dispersed carbon nanotube-reinforced cement-based materials United States Patent 9,365,456. June 14, 2016.
17. Shah, et al. Highly dispersed carbon nanotube-reinforced cement-based materials. United States Patent 9,499,439. November 22, 2016.
18. Fulton, et al. Methods and systems for making nanocarbon particle admixtures and concrete. United States Patent 10,584,072. March 10, 2020.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Текстовое электронное издание

Новополоцк
Полоцкий государственный университет
2021

1 – дополнительный экран – сведения об издании

УДК 72:624/628+69(082)

Одобрено и рекомендовано в качестве электронного издания
Советом инженерно-строительного факультета (протокол № 8 от 27.10.2021 г.)

Редакционная коллегия:

Д. Н. Лазовский (председатель), А. А. Бакатович, Е. Д. Лазовский,
Л. М. Парфенова, Ю. В. Вишнякова, Р. М. Платонова, Е. Г. Кремнева, А. М. Хаткевич

АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ

[Электронный ресурс] : электрон. сб. ст. III междунар. науч. конф., Новополоцк, 29–30 апр. 2021 г. / Полоц. гос. ун-т ; Редкол.: Д. Н. Лазовский (председ.) [и др.]. – Новополоцк : Полоц. гос. ун-т, 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

ISBN 978-985-531-779-2.

Рассмотрены вопросы архитектуры и градостроительства в современных условиях, прогрессивные методы проведения инженерных изысканий и расчета строительных конструкций. Приведены результаты исследований ресурсо- и энергосберегающих строительных материалов и технологий, энергоресурсосберегающие и природоохранные инновационные решения в инженерных системах зданий и сооружений. Проанализированы организационные аспекты строительства и управления недвижимостью, проблемы высшего архитектурного и строительного образования.

Для научных и инженерно-технических работников исследовательских, проектных и производственных организаций, а также преподавателей, аспирантов, магистрантов и студентов строительных специальностей учреждений образования.

*Сборник включен в Государственный регистр информационного ресурса.
Регистрационное свидетельство № 3671815379 от 26.04.2018 г.*

211440, ул. Блохина, 29, г. Новополоцк, Беларусь
тел. 8 (0214) 53 53 92, e-mail: a.bakatovich@psu.by; l.parfenova@psu.by

№ госрегистрации 3671815379

ISBN 978-985-531-779-2

©Полоцкий государственный университет, 2021

2 – дополнительный титульный экран – производственно-технические сведения

Для создания текстового электронного издания «Архитектурно-строительный комплекс: Проблемы, перспективы, инновации» использованы текстовый процессор Microsoft Word и программа Adobe Acrobat XI Pro для создания и просмотра электронных публикаций в формате PDF.

**АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС:
ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ, ИННОВАЦИИ**

ЭЛЕКТРОННЫЙ СБОРНИК СТАТЕЙ
III МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ

(Новополоцк, 29–30 апреля 2021 г.)

Технический редактор *И. Н. Чапкевич*.

Компьютерная верстка *А. А. Прадидовой, С. Е. Рясовой*.

Компьютерный дизайн обложки *Е. А. Балабуевой*.

Подписано к использованию 16.11.2021.

Объем издания: 13 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 736.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования «Полоцкий государственный университет».

Свидетельство о государственной регистрации
издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/305 от 22.04.2014.

ЛП № 02330/278 от 08.05.2014.

211440, ул. Блохина, 29,
г. Новополоцк,
Тел. 8 (0214) 59-95-41, 59-95-44
<http://www.psu.by>