

УДК 691.545

БЕТОН, МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГРАФЕНОМ

Т.А. Потес¹, С.Н. Леонович²Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь
e-mail: ¹ Tanyapotes@bntu.by, ² leonovichsn@tut.by

В статье рассматривается влияние малых дозировок отечественного углеродного наноматериала – графена в составе водной суспензии на цементный бетон.

Ключевые слова: бетон, водная суспензия графена, прочность при сжатии.

GRAPHENE MODIFIED CONCRETE

T. Potses¹, S. Leonovich²Belarusian National Technical University, Republic of Belarus
e-mail: ¹ Tanyapotes@bntu.by, ² leonovichsn@tut.by

The article considers the effect of small dosages of domestic carbon nanomaterial-graphene in the composition of an aqueous suspension on cement concrete.

Keywords: concrete, graphene aqueous suspension, compressive strength.

Введение. Существует постоянная потребность в разработке новых эксплуатационных многофункциональных строительных материалов с использованием современных минеральных и химических добавок и инженерных технологий. К этим материалам предъявляются повышенные требования относительно долговечности, физико-механических показателей и функциональных возможностей, для использования в конструкциях различного назначения. Бетон, как один из самых популярных строительных материалов в мире, должен быть спроектирован на наноуровне, где его химические и физико-механические свойства могут быть действительно улучшены. В этой статье сообщается об исследовании влияния различных концентраций графена на прочностные показатели бетона. Они включают в себя увеличение прочности при сжатии до 62%.

Новые мировые стандарты современных гражданских технологий, постоянно требующие все более требовательной инфраструктуры, стимулируют разработку сверхвысокопродуктивных многофункциональных строительных материалов. В частности, значительные усилия сосредоточены на повышении эксплуатационных характеристик и функциональности бетона.

Для обеспечения новых функциональных возможностей требуется вмешательство на наноуровне, поскольку большая часть повреждений, нанесенных бетону, может быть прослежена до химических и механических дефектов в структуре цемента. Таким образом, современные исследования направлены на изучение новых способов повышения эксплуатационных характеристик бетона путем наноинженерии химических и физико-механических свойств цемента, основного связующего элемента в составе бетона. Частицы цемента, состоящие из различных химических элементов (таких как силикаты кальция, алюминаты и алюмоферриты), при взаимодействии с водой претерпевают превращение из порошкообразной формы в волокнистые кристаллы, известное как реакция гидратации [1]. Их рост и механическое сцепление с течением времени являются наиболее значимыми факторами в формировании свойств материала бетона. Основные химические и физические свойства наноматериалов обеспечивают наиболее эффективное улучшение внутренней матрицы бетона, а недавний прогресс в области наномодификации цементных композиционных материалов позволил применять их в области усиления конструкций. Предыдущие исследования [2] были в основном сосредоточены на внедрении наноматериалов

в цемент. К ним относятся включение углеродных нанотрубок (УНТ) в цемент, что привело к 50%-ному (для УНТ) повышению прочности на сжатие. Однако эти выводы не распространяются непосредственно на бетон, так как добавление песка и заполнителя изменяет физико-механические свойства материала. Более того, на сегодняшний день роль атомарно тонких материалов в нанотехнологии бетона еще предстоит изучить, и это обещает изменить мир строительных материалов и конструкций.

Изготовление водной суспензии графена. Разнообразие физико-химических свойств графена позволяет надеяться на развитие прикладных направлений, основанных на использовании этого материала. Подобные надежды стимулируют исследования, направленные на разработку новых эффективных методов синтеза графена в макроскопических количествах. Недавно к десятку хорошо известных и уже детально описанных в литературе методов прибавился еще один, получивший название “электрохимическая эксфолиация”. Этот метод основан на использовании электрохимических реакций, происходящих в пространстве между слоями графита, заполненном электролитом. Выделение газов, образующихся в результате протекания таких реакций, приводит к расщеплению (эксфолиации) графеновых листов, которые затем окончательно разделяются с помощью поверхностно-активных реагентов.

В работе [3], опубликованной группой ученых из National Cheng Kung University (Тайвань) исследована возможность функционализации графеновых листов, полученных методом электрохимической эксфолиации. Последний метод позволяет разделять графит на графеновые слои в жидкой среде с получением малослойных графеновых дисперсий, стабилизированных поверхностно-активным веществом в воде чрезвычайно эффективно для изготовления бетона, армированного графеном, поскольку он может заменять воду непосредственно в бетонной смеси и является промышленно масштабируемым. Графеновые нанопластины стабилизируются в составе водной суспензии с использованием поверхностно-активных веществ и модифицированного лигносульфоната (ЛСТМ). Поверхностно-активное вещество может играть несколько ролей в приготовлении суспендированного в воде графена, т. е. оно помогает снизить поверхностное натяжение воды до уровня графена и сделать возможным отслоение, позволяет формировать однородные смеси и, самое главное, стабилизирует отслоенные графеновые нанослои и предотвращает их агрегацию.

Экспериментальное исследование. Требования к материалам, используемым в эксперименте: заполнители для бетона – щебень кубовидный фракций 5...10 и 5...20 мм (ГОСТ 8267-93); песок природный Мк- 2,6...2,8 (ГОСТ 8736-93); вяжущее – портландцемент ПЦ 500-Д0 (ГОСТ 30515-2013) (СЕМ I 42,5 N по СТБ EN 197-1-2015); вода затворения – по СТБ 1114-98. Общий расход материалов для изготовления образцов кубов приведен в таблице 1.

Таблица 1. – Расход материалов для изготовления образцов

Используемые материалы	Расход материалов кг/м ³
Цемент	397
Щебень	1122
Песок	1052
В/Ц	0,5

Способ введения водной суспензии графена на основе ЛСТМ в бетонную смесь осуществлялся путем диспергирования в воде затворения и дальнейшим смешиванием всех компонентов: портландцемента, мелкого заполнителя и крупного заполнителя. Для оптимизации эксплуатационных характеристик были исследованы различные составы с различной концентрацией. Ключевыми механическими свойствами бетона является кинетика роста прочности на сжатие с течением времени. Поэтому образцы кубы были протестированы в возрасте 1, 7, 28 дней, чтобы получить значения прочности раннего и более позднего возраста. Образцы бетона, армирован-

ного суспензией графена, сравнивались с контрольными образцами бетона. С этой целью была изготовлена контрольная группа образцов по той же методике, но с заменой суспензии графена водопроводной водой.

Впоследствии кубики бетона были испытаны на прочность при сжатии в соответствии со стандартами. [4] Одноосное испытание на прочность при сжатии бетонных кубов наиболее широко используемый метод оценки характеристики механических свойств бетона модифицированного графеном и оценки эффективности этого типа армирования.

Экспериментальная программа и результаты испытаний приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Экспериментальная программа и результаты

Условия хранения	Модификатор	№ состава	Количество Графена в % от МЦ	Прочность при сжатии, МПа			
				1 сутки	7 суток	28 суток	%
КНВТ 50% ± 5	Контрольный	1,1		12,35	21,06	25,86	100
		1,2		13,44	21,18	25,94	
		1,3		13,48	21,26	25,28	
		1,4		12,92	21,03	24,70	
		1,5		13,89	20,96	26,04	
		1,6		13,57	20,92	25,80	
	Водная суспензия графена	2,1	0,04	16,67	23,67	29,43	114,97
		2,2		16,05	23,80	29,50	
		2,3		16,91	23,09	29,12	
		2,4		16,80	23,74	29,76	
		2,5		15,77	23,75	29,90	
		2,6		16,93	23,89	29,94	
	Водная суспензия графена	3,1	0,07	19,64	32,98	41,04	162,67
		3,2		19,80	34,05	41,62	
		3,3		19,93	32,86	41,06	
		3,4		19,05	34,86	41,58	
		3,5		19,62	34,82	41,54	
		3,6		20,66	34,12	42,36	
	Водная суспензия графена	4,1	0,1	17,90	30,99	38,03	146,69
		4,2		18,22	30,87	38,11	
		4,3		18,54	30,80	38,20	
		4,4		18,08	30,86	37,90	
		4,5		18,94	30,91	37,74	
		4,6		18,11	31,05	37,57	

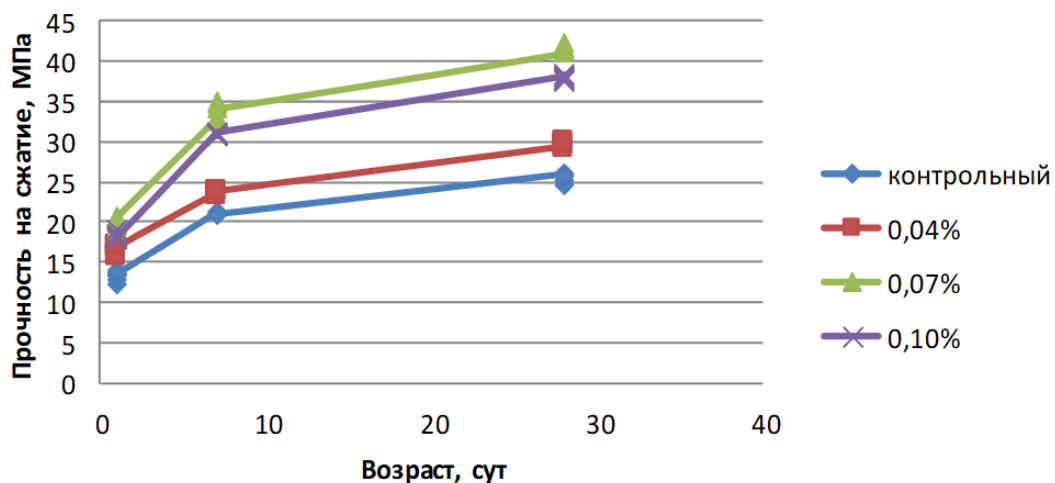


Рисунок 1. – Кинетика набора прочности бетона

Заключение. Проведён анализ практического решения повышения прочности бетона, применением водной суспензии графена, проведены экспериментальные исследования влияния суспензии графена на прочностные характеристики образцов кубов размером 100*100*100 мм из бетона.

В результате работы были выявлены следующие закономерности:

1. Прочность на сжатие образцов кубов в возрасте 1-7 суток увеличена от 13 до 63 %, в возрасте 28 суток на 16-62 % относительно контрольных образцов. По результатам определения влияния суспензии графена на основе ЛСТМ можно сделать вывод о том, что поверхность графена является энергоактивной и может выступать в качестве центра кристаллизации.

2. Проявляется этот эффект в полной мере при концентрации графена (твёрдого вещества) равной 0,07 % от МЦ.

3. Способ введения суспензии графена диспергированием в воде затворения может быть использован в технологическом цикле получения бетонных смесей на производстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. M. Lea, The Chemistry of Cement and Concrete, Chemical Pub. Co., New York, NY 1970.
2. Батяновский, Э.И. Влияние углеродных наноматериалов на свойства цемента и цементного камня / Э.И. Батяновский, А.В. Краукулис, П.П. Самцов, П.В. Рябчиков, П.П. Самцов // Строительная наука и техника – 2010 - № 1-2 (28-29). – С.3-10.3. ГОСТ 10180.
3. M.Hofmann et al., Nanotechnology 26, 33560 (2015).
4. ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам».

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, 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 09.11.2021.

Объем издания: 21,05 Мб. Тираж 3 диска. Заказ 420.

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>