

bsea.bgita.ru/2006/leskomp_2006/rudenko_dobavka.htm. – Дата доступа: 19.11.2009.

4. Минас, А.И., Наназашвили, И.Х. Исследование адгезии в структуре конгломерата «древесина – цементный камень» / А.И. Минас, И.Х. Наназашвили // Совершенствование заводской технологии железобетонных изделий на предприятиях сельстройиндустрии. – М., 1979. – 19 с.

5. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.: ил.

6. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, 1973. – 207 с.

7. Hansen W. C. Actions of calcium sulfate and admixtures in portland cement paste // Proceeding of the Third International Symposium on the Chemistry of Cement. - London. 1952. – p. 3-25.

8. Steinour H.H. Actions of calcium sulfate on the hydration and the microstructure of hardened mortar of C_3S // Proceedings of the Third International Symposium on the Chemistry. – London, 1952. – p. 25-37.

УДК 691.545

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕТОНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ГРАФЕНОМ

БУДРЕВИЧ Н. А., ЛЕОНОВИЧ С. Н., САДОВСКАЯ Е. А.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В данной статье представлены результаты экспериментального исследования влияния графена на физические свойства бетона. Графен добавлялся двух видов (АС-М Графен Озон WBK40 и АС-М Графен WBK40). Содержание графена принималось: 50, 150, 400, 700, 1000 грамм на тонну пластификатора. Испытания проводились в возрасте 2, 7 и 28 сут.

Ключевые слова: бетон, графен, прочность на сжатие, прочность на изгиб.

Введение. Предполагается, что наночастицы графена (рис. 1) улучшат цементную матрицу на наноуровне [1]. Графен может значительно повысить прочность и твердость цемента за счет регулирования микроструктуры кристаллов гидратации цемента, и, следовательно, имеет большой потенциал для практического применения в производстве материалов на основе цемента [2].

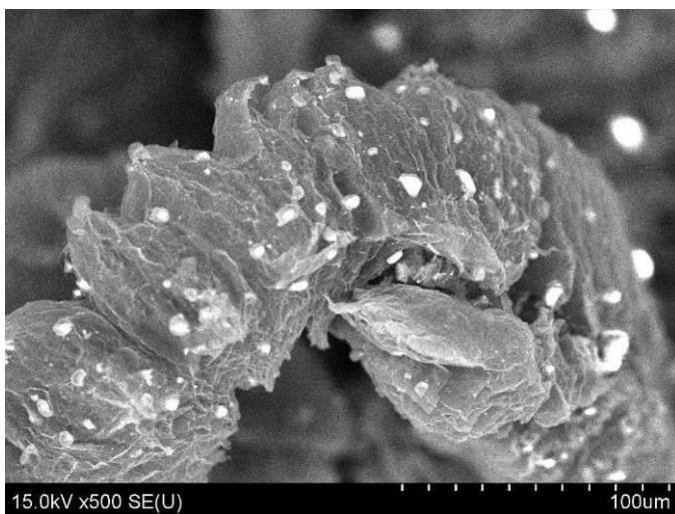


Рис. 1. Наночастицы графена

Исследования Ahmadreza Sedaghat, A. Zayed [5] включения графеновых наночастиц в цементную пасту показали интересные модификации микроструктурных, морфологических, электрических и тепловых свойств пасты. Было обнаружено, что теплопроводность и электропроводность возрастают с увеличением содержания графена в композите. Эффект увеличения коэффициента теплопроводности гидратированного графенового цементного композита имеет важное значение, особенно во время экзотермических реакций, происходящих на начальных стадиях гидратации портландцемента.

Результаты лабораторных испытаний Virginie Wiktor [6] показали, что добавление графена улучшает структуру пор и уменьшает общую пористость, обеспечивая более высокую прочность на сжатие. Добавление графена улучшает степень гидратации цементной

пасты и увеличивает плотность цементного камня, создавая более прочный продукт.

1. Используемые материалы и их свойства

1) **Графен** добавлялся в различных концентрациях (50, 150, 400, 700, 1000 грамм на тонну пластификатора) в готовую сухую бетонную смесь.

2) **Цемент.** Использовался обычный портландцемент марки М500 из одной партии.

3) **Мелкий заполнитель.** В качестве мелкого заполнителя для бетона применялся песок, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 8736-93, с модулем крупности $M_k=2$, насыпной плотностью $\rho_n=1600$ кг/м³, истинной плотностью $\rho_n < 2800$ кг/м³.

4) **Крупный заполнитель.** В качестве крупного заполнителя для бетона применялся щебень из природного камня фракции 5-20 мм, насыпной плотностью $\rho_n=1400$ кг/м³, истинной плотностью $\rho_n \approx 2700$ кг/м³.

5) **Вода.** Согласно СТБ 1114-98 для изготовления бетонных смесей применялась вода, не содержащая вредных примесей, препятствующих нормальному схватыванию и твердению бетона.

6) **Пластификатор** применялся для увеличения подвижности и снижения водопотребности бетонной смеси и, как результат, для сокращения усадочных явлений в бетоне.

2. Программа эксперимента

В таблице 1 приведена модель проводимого эксперимента.

Таблица 1

Модель эксперимента

Вид образцов	Вид испытаний	Количество образцов
Кубы 100x100x100мм	Прочность на сжатие в возрасте:	99
	- 2 сут.	
	- 7 сут.	
Призмы 40x40x160мм	Прочность при изгибе в возрасте	33
	28 сут.	
	Прочность на сжатие в возрасте	
	28 сут.	

Общий расход материалов представлен в таблице 2.

Таблица 2

Расход материалов

Используемые материалы	Общий расход материалов на опытные образцы, кг/м ³	
	кубы	призмы
Цемент	340	543
Крупный заполнитель (щебень)	960	–
Мелкий заполнитель (песок)	900	1628
В/Ц	≈0,5	≈0,4

2. Результаты эксперимента

2.1. Результаты эксперимента по определению прочности на сжатие образцов-кубов

Для каждого установленного срока испытаний (2, 7 и 28 сут) было изготовлено по три образца. Условия хранения образцов выполнялись в соответствии с ГОСТом 10180 [5].

Предел прочности на сжатие определяли, как среднее арифметическое значений двух наибольших результатов испытаний трех образцов.

Результаты испытаний по определению прочности на сжатие на опытных образцах кубов приведены в таблице 3, а также представлены в виде графиков (рис. 2-3).

Таблица 3

Результаты испытаний по определению прочности на сжатие образцов-кубов в возрасте 2, 7 и 28 сут

Содержание графена	Прочность на сжатие опытных образцов-кубов, МПа		
	2 сут	7 сут	28 сут
1	2	3	4
0 (контрольный образец)	46,3	54,2	65,5
<i>АС-М Графен Озон WBK40</i>			
50 гр/т	48,4	58,0	63,2
150 гр/т	50,3	59,4	64,1
400 гр/т	45,9	57,1	63,2
700 гр/т	49,4	58,4	65,3

1	2	3	4
400 гр/т	45,9	57,1	63,2
700 гр/т	49,4	58,4	65,3
1000 гр/т	47,8	58,9	66,4
<i>АС-М Графен WBK40</i>			
50 гр/т	48,4	59,4	63,3
150 гр/т	46,6	58,3	64,4
400 гр/т	47,5	58,2	64,6
700 гр/т	45,2	55,6	60,2
1000 гр/т	49,4	57,5	61,4

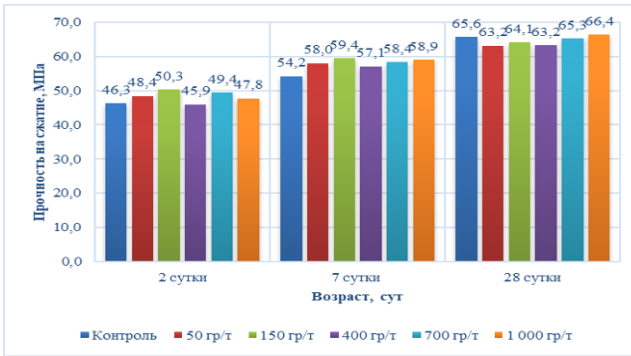


Рис. 2. Прочность на сжатие образцов-кубов с озонированным графеном (АС-М Графен Озон WBK40)

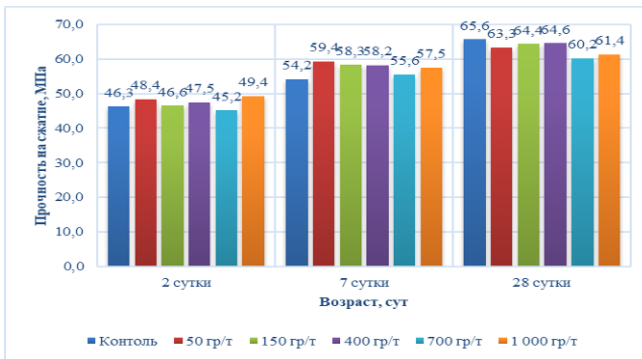


Рис. 3. Прочность на сжатие образцов-кубов с неозонированным графеном (АС-М Графен WBK40)

1.2. Результаты эксперимента по определению прочности при изгибе и при сжатии образцов-призм

Для установленного срока испытаний (28 сут) было изготовлено по три образца. Условия хранения образцов выполнялись в соответствии с ГОСТом 310.4-81 [4].

Предел прочности при изгибе (рис. 4а) вычислялся как среднее арифметическое значений двух наибольших результатов испытания трех образцов.

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек сразу же подверглись испытанию на сжатие. Предел прочности при сжатии (рис. 4б) вычисляли как среднее арифметическое значение четырех наибольших результатов испытания 6 образцов



Рис. 4. Определение прочности
а – при изгибе, *б* – при сжатии

Результаты испытаний по определению прочности при изгибе для опытных образцов-призм приведены в таблице 4, а также представлены в виде графиков (рис. 5).

Таблица 4

Результаты испытаний по определению прочности на сжатие
и при изгибе образцов-призм в возрасте 28 сут

Содержание графена	Прочность на изгиб R_f , МПа	Прочность на сжатие R_c , МПа
0 (контрольный образец)	10,5	75,5
<i>АС-М Графен Озон WBK40</i>		
50 гр/т	9,0	66,9
150 гр/т	10,1	72,5
400 гр/т	10,5	71,5
700 гр/т	7,5	71,9
1000 гр/т	7,5	56,2
<i>АС-М Графен WBK40</i>		
50 гр/т	8,3	71,0
150 гр/т	6,5	65,7
400 гр/т	7,6	69,8
700 гр/т	9,8	64,4
1000 гр/т	8,3	67,9

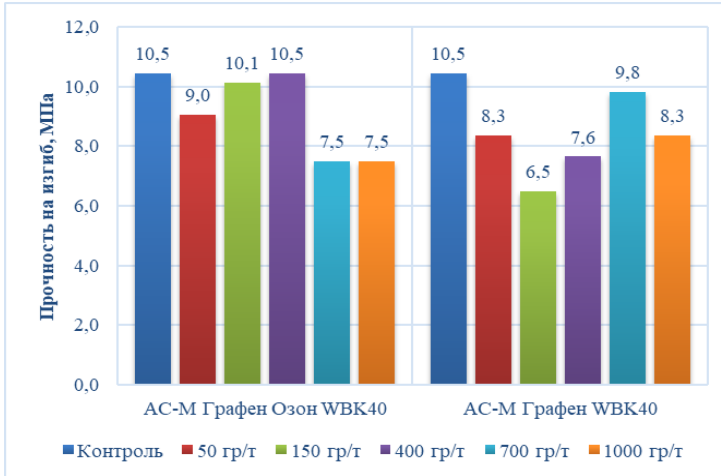


Рис. 5. Прочность при изгибе образцов-призм

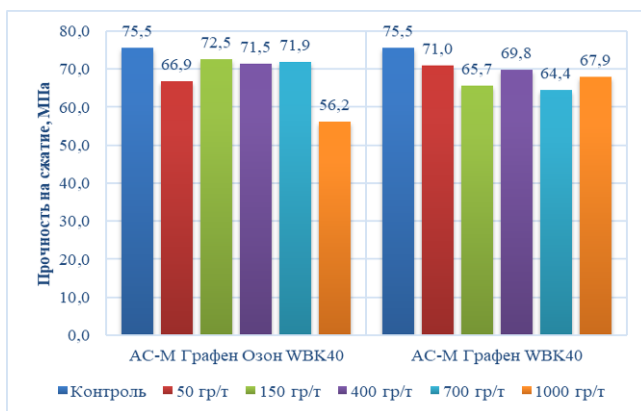


Рис. 6. Прочность на сжатие образцов-призм

Выводы. Добавление графена в экспериментальном рецептурно-технологическом диапазоне не привело к ожидаемому увеличению прочности на сжатие и прочности при изгибе. Результаты испытаний показывают, что есть прирост прочности в образцах-кубах в возрасте 7 суток от 5 до 10%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chuah S, Pan Z, Sanjayan JG, Wang CM, Duan WH. Nano reinforced cement and concrete composites and new perspective from graphene oxide. *Construction and Building Materials*. 2014 Dec 30;73:113-24.
2. Gong K, Pan Z, Korayem AH, Qiu L, Li D, Collins F, Wang CM, Duan WH. Reinforcing effects of graphene oxide on portland cement paste. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2014 Jul 16;27 (2):A4014010.
3. ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»
4. ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии»
5. IS: 1199-1959: Indian Standard Methods of Sampling and analysis of concrete, Bureau of Indian Standards, New Delhi.
6. IS 383- 1970, 'Specification for coarse and fine aggregate from natural sources for concrete' Bureau of Indian Standards, New Delhi, India.