

DOI: 10.12737/24424

Дроков А.В., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИБРОБЕТОНОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЫРЬЯ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

опасni1@mail.ru

Наиболее перспективным направлением в современной науке и строительном производстве являются нанотехнологии. Посредством лабораторных испытаний материалов, имеющих в своём составе такое вещество как многослойные углеродные нанотрубки, было доказано, что даже небольшое количество введенного наноматериала увеличивает прочностные характеристики испытуемого образца. В ходе исследования было доказано, что при введении в образцы фибробетона на основе сырьевых ресурсов Северного Кавказа и содержащих в себе фибру различных видов, небольшого количества многослойных углеродных нанотрубок увеличиваются прочностные характеристики фибробетонов. Данное направление является актуальным в условиях использования на территории Северного Кавказа применительно к строительству и реставрации зданий санитарно-оздоровительных комплексов потому, как фибробетон является тонкостенным материалом, который осуществляет нагрузку на несущую часть и основание здания значительно меньше, чем железобетон. А такое свойство, как способность принимать разнообразные формы придаст зданиям и сооружениям помимо положительных эксплуатационных качеств ещё и эстетическую привлекательность.

**Ключевые слова:** композиционные вяжущие, фибробетон, нанотрубки, фибра.

**Введение.** В связи с растущими темпами строительства на протяжении многих лет по всему миру идёт поиск долговечного и не требующего дополнительных затрат на улучшение тех или иных положительных свойств строительного материала [1]. Не исключением является и территория Северного Кавказа. Главной отличительной особенностью при возведении зданий и сооружений, а также производстве строительных материалов для эксплуатации в условиях приведенной выше территории являются агрессивные грунтовые воды и достаточно высокая сейсмическая активность [2]. В связи с этим, основными свойствами, которыми должны обладать строительные материалы, используемые на территории Северного Кавказа, являются химическая устойчивость к отдельным компонентам грунтовых вод и сохранение своих прочностных характеристик под действием вибрации [2].

**Основная часть.** Образцы фибробетона были заформованы класса В20 различного вещественно-количественного состава. Для исследования влияния многослойных углеродных нанотрубок на прочностные характеристики фибробетонов были использованы нанотрубки DEALTOM, изготовленные и сертифицированные на базе НПП «Центр нанотехнологий» [3]. Данный материал представляет собой углеродные квазиоднородные наномасштабные нитевидные образования поликристаллического графита цилиндрической формы с внутренним ка-

налом. Эта разновидность наноматериала не требует очистки от других форм углерода (сажи), не имеет повреждений поверхности и предназначена для модификации композиционных материалов [4]. Многослойные углеродные нанотрубки без очистки DEALTOM представлены в виде порошка [3].

Порошок состоит из нанотрубок [5] двух размеров  $D_{out} = 49,3 \pm 0,45$  нм  $72,0 \pm 0,45$  нм – положение максимума функции распределения по внешнему диаметру нанотрубок, построенной на основании данных просвечивающего (трансмиссионного) электронного микроскопа (ПЭМ).

- $W_{out} = 27$  % – оценка полуширины функции распределения по внешнему диаметру (в процентах от  $D_{out}$ ), сделанная на основании данных ПЭМ.

- $D_{in} = 13,3 \pm 0,45$  нм – положение максимума функции распределения по внутреннему диаметру нанотрубок, построенной на основании данных ПЭМ.

- $W_{in} = 74$  % – оценка полуширины функции распределения по внутреннему диаметру (в процентах от  $D_{in}$ ), сделанная на основании данных ПЭМ.

- $L = 5$  мкм – грубая оценка верхней границы длины нанотрубок, сделанная на основании данных РЭМ. Высокая температура начала сгорания косвенно свидетельствует о малой степени дефектности нанотрубок  $T = 517 \pm 2$  °С – аппроксимированная температура начала сгора-

ния углеродных нанотрубок.  $\Delta T = 307 \pm 2$  °С – диапазон температур, в котором происходит полное сгорание углерода.

- $C_{\text{ash}} = 3,52 \pm 0,2$  % – массовый процент содержание несгораемого до 1000 °С остатка катализатора.

- $C_{\text{non}} = 0,65 \pm 0,08$  % – массовый процент содержание неструктурированных форм углерода, сгорающих до начала сгорания углеродных нанотрубок.

- $S = 97,55 \pm 0,02$  м<sup>2</sup>/г – удельная площадь поверхности, определенная методом ВЕТ.

Для чистоты эксперимента [6] все фибробетонные образцы были заформованы с применением в качестве вяжущего портландцемент без применения минеральных добавок марки 500, производства ГУП «Чеченцемент»; в качестве мелкого заполнителя – песок природный (тонкий), фракции 0-5 мм ГОСТ 8736-93, модулем крупности 2,5–3,0, полученный путем отсева природной гравийно-песчаной смеси, производства Малкинского Песчано-Гравийного Карьера,

находящегося на территории Ставропольского края. В качестве армирующего элемента были применены такие разновидности фибры, как:

- волокно строительное микроармирующее синтетическое (полипропиленовое);

- фибра стальная из листового проката ТУ 1231-001-25043944-2014;

- стеклянное фиброволокно;

- волокно базальтовое рубленное по артикулам: БС(13÷22) – (3,2(1/8') ÷ 90(3'))р. Тип замасливателей: КВ – (02;11;12;13;14;15;42); КВ – 05/1; Б1.5. ТУ 5952-002-13307094-2008.

Экспериментальным путём [8] был определен вещественно-количественный состав каждого фибробетонного образца (Табл.1), с учетом прогнозируемых положительных свойств [9], необходимых для территории Северного Кавказа. Содержание вяжущего, заполнителей и микроармирующих элементов, представленное в табл. 1, указано на 1 м<sup>3</sup> фибробетонного элемента.

Таблица 1

Вещественно-количественный состав образцов фибробетона

| № образца | наименование по разновидности фибры | количественное содержание на 1 м <sup>3</sup> , кг (л) |       |                |      |                   |                  |      |      |
|-----------|-------------------------------------|--|-------|----------------|------|-------------------|------------------|------|------|
|           |                                     | цемент марки 500                                       | песок | стальная фибра | ВСМ  | базальтовая фибра | стеклянная фибра | МУНТ | вода |
| 1         | сталефибробетон                     | 300  | 1200  | 85             | -    | -                 | -                | -    | 820  |
| 2         | базальтофибробетон                  | 300  | 1200  | -              | -    | 2,4               | -                | -    | 400  |
| 3         | базальтофибробетон                  | 300  | 1200  | -              | -    | 2,4               | -                | -    | 250  |
| 4         | полипропиленофибробетон             | 300  | 1200  | -              | 0,75 | -                 | -                | -    | 250  |
| 5         | стеклофибробетон                    | 300  | 1200  | -              | -    | -                 | 1,25             | -    | 250  |
| 6         | стеклофибробетон                    | 300  | 1200  | -              | -    | -                 | 1,25             | 1,5  | 250  |
| 7         | полипропиленофибробетон             | 300  | 1200  | -              | 0,75 | -                 | -                | 1,5  | 250  |
| 8         | сталефибробетон                     | 300  | 1200  | 85             | -    | -                 | -                | 1,5  | 250  |
| 9         | базальтофибробетон                  | 300  | 1200  | -              | -    | 2,4               | -                | 1,5  | 250  |

Все изготовленные образцы были выполнены размером 10×10×10, подвергались естественному твердению и набирали марочную прочность в течение 28 суток [11].

После набора марочной прочности [12] все фибробетонные образцы подверглись разрушаемому и не разрушаемому контролю, а именно:

- испытание на сжатие прессом гидравлическим;

- контроль прочности, однородности и класса фибробетона методом ударного импульса прибором ОНИКС-2.5;

- контроль прочности, однородности и класса фибробетона на основании измерения в нём времени и скорости распространения ультразвука прибором ПУЛЬСАР – 2.2.

Все полученные данные по разрушаемому и не разрушаемому контролю [13], указанных выше приборов, приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Фактические значения прочности на сжатие образцов фибробетона

| № образца | Вес образца, кг. | Показания приборов, МПа |             |               |
|-----------|------------------|-------------------------|-------------|---------------|
|           |                  | Пресс гидравлический    | ОНИКС – 2.5 | ПУЛЬСАР – 2.2 |
| 1         | 1,825            | 10,45                   | 9,86        | 13,4          |
| 2         | 1,740            | 11,4                    | 10,57       | 14,61         |
| 3         | 1,640            | 8,46                    | 10,84       | 13,97         |
| 4         | 1,650            | 11,07                   | 9,32        | 13,23         |
| 5         | 1,780            | 13,21                   | 11,50       | 15,87         |
| 6         | 1,805            | 15,21                   | 12,02       | 17,23         |
| 7         | 1,710            | 13,67                   | 11,33       | 14,00         |
| 8         | 1,865            | 14,58                   | 12,12       | 13,57         |
| 9         | 1,775            | 8,65                    | 11,20       | 14,83         |

По полученным данным были построены три диаграммы зависимости прочностных характеристик [14] от введения многослойных углеродных нанотрубок посредством разрушающего и неразрушающего контроля. На рис. 1

представлены показания, снятые с гидравлического пресса [15] при проведении испытаний образцов фибробетона посредством разрушающего контроля.

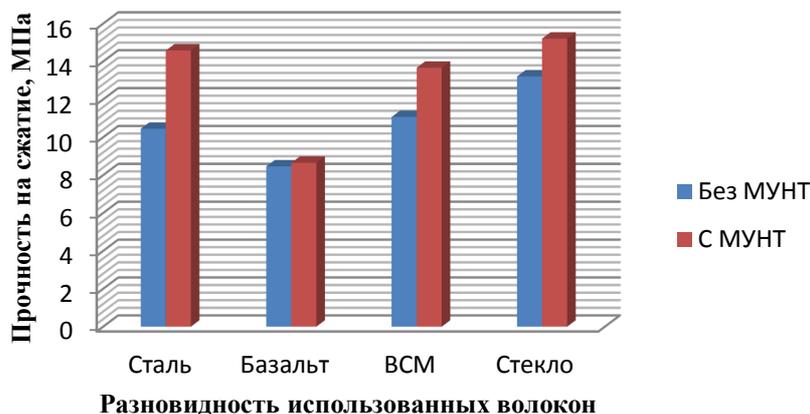


Рис. 1. Диаграмма зависимости прочности на сжатие фибробетона от введения МУНТ, методом разрушающего контроля прессом НП-1000

На рис. 2 представлены результаты лабораторных испытаний неразрушающего контроля,

методом ударного импульса, с помощью прибора ОНИКС-2.5.

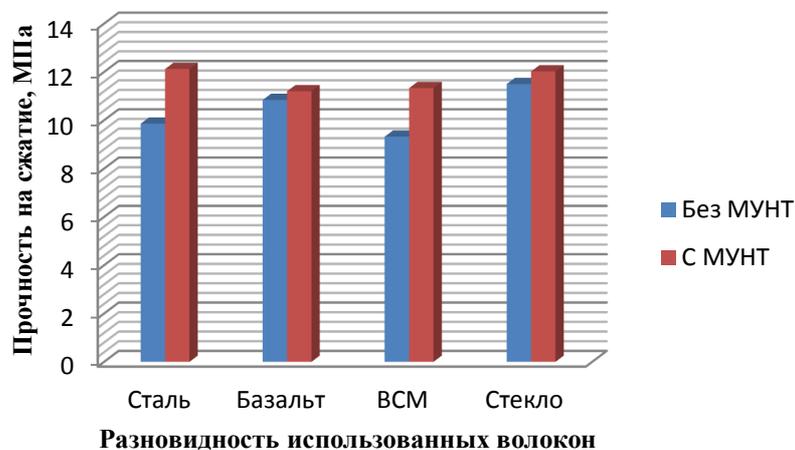


Рис. 2. Диаграмма зависимости предела прочности фибробетона от количества введенных МУНТ

На рис. 3 представлены результаты лабораторных испытаний неразрушающего контроля, методом измерения времени и скорости распро-

странения ультразвуковых волн в образцах фибробетона, полученные прибором ПУЛЬСАР-2.2.

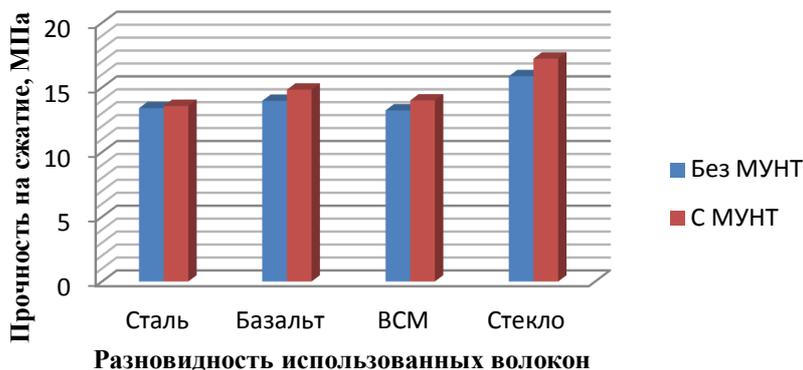


Рис. 3. Диаграмма зависимости  $R_{сж}$  образцов от количества МУНТ на основе скорости и времени распространения ультразвука.

**Выводы.** Из полученных экспериментальным путём данных следует, что при введении небольшого количества многослойных углеродных нанотрубок в состав фибробетонных элементов, полученных с применением сырьевых ресурсов Северного Кавказа, прочностные характеристики увеличиваются у сталевфибробетона на  $\approx 21\%$ , у базальтофибробетона на  $\approx 4\%$ , у полипропиленофибробетона на  $\approx 17\%$ , у стеклофибробетона на  $\approx 9,5\%$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Рыбьев И.А. Строительное материаловедение. М.: Высшая школа, 2008. 704 с.
2. Лаврищев В. А., Греков И. И. Тектонические покровы Западного Кавказа // Проблемы геологии, полезных ископаемых и экологии Юга России и Кавказа. Новочеркасск, 1999. С. 57–64.
3. DEALTOM. Углеродные наноматериалы [Электронный ресурс]. URL: <http://dealtom.ru/content/production> (дата обращения: 10.01.2017).
4. Губанов Д.О., Комарова Н.Д. К вопросу модифицирования цементов и бетонов // Университетская наука. 2016. №2. С. 69–71.
5. Кондраков И.М.. Методологические подходы к поиску возможных путей развития нанометрических технологий // Сборник научных докладов №19 XIX-ой Международной научно-практической конференции. 2014. № 19. С. 139–143.
6. Курбатов В.Л., Данильян Е.А.. Свойства композиционных материалов в зависимости от физико-механических показателей фаз, гранулометрии и концентрации заполнителей // Science Time. 2014. №2. С. 35–41.

7. Бабков В.В., Мохов В.Н., Капитонов С. М.. Структурообразование и разрушение цементных бетонов. Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат». 2002.387 с..

8. Волков И. В.. Фибробетон – состояние и перспективы применения в строительных конструкциях //Строительные материалы, оборудование, технологии XXI в. 2004. № 5. С. 24–25.

9. Magu Madar A. Basalt fibre reinforced cement. London, 1991. С. 31–33.

10.J. Hannat. Fibre cements and fiber concretes. New York, 1998. С.16–17.

11.Лесовик В.С. Повышение эффективности производства строительных материалов с учетом генезиса горных пород. М.: Изд. Ассоц. строит. вузов, 2006. 364 с.

12.Комарова Н.Д.. Аспекты модифицирования цементно-бетонных систем. Научные итоги: достижения, проекты, гипотезы. Сборник научных докладов №19 XIX-ой Международной научно-практической конференции. 2014. № 19. С. 20–24.

13. Курбатов В.Л., Дроков А.В. История фибробетона и его современное применение в России и за рубежом // Сборник научных докладов №21 XXI-ой Международной научно-практической конференции. 2014. № 21. С. 48–52.

14.Дроков А.В., Курбатов В.Л. Свойства и применение фибробетона на основе базальтовой фибры // Сборник научных докладов №22 XXII-ой Международной научно-практической конференции. 2014. №22. С. 7–9.

15. Литвинова Ю.В., Комарова Н.Д., Особенности процессов структурообразования при твердении мелкозернистых бетонов на многокомпонентных вяжущих // Актуальные вопросы

технических наук: теоретический и практический аспекты. Уфа: Изд. Общество с ограничен-

ной ответственностью «АЭТЕРНА», 2015. С. 20–34.

---

**Drokov A.V.**

**STUDY OF MULTILAYER CARBON NANOTUBES ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF THE FIBER-REINFORCED CONCRETE, MANUFACTURED WITH RAW MATERIALS OF NORTH CAUCASUS**

*The most promising trend in modern science and the construction industry is nanotechnology. Through numerous laboratory tests of materials, having in its composition a substance as a multi-layer carbon nanotubes, it has been proven that even small amounts of nanomaterials entered increases the strength characteristics of the test sample. In the study, it was shown that when injected into fiber-concrete samples made on the basis of raw materials of the North Caucasus and containing a fiber of various types, a small number of multi-layer carbon nanotubes increases the strength characteristics of the fiber-reinforced concrete. This area is relevant to the conditions of use in the North Caucasus in relation to the construction and restoration of buildings of sanitary and recreation centers because, as the fiber concrete is a thin-walled material, which carries the load on the bearing part and the base of the building is much less than concrete. But such a property, as the ability to take many forms give buildings and facilities in addition to the positive performance of more and aesthetic appeal.*

**Key words:** composite binders, fibrous concrete, nanotube fiber.

---

**Дроков Алексей Викторович**, аспирант.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

Адрес: Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

E-mail: opasni1@mail.ru