

УДК 666.972.16

Бадертдинов И.Р. – аспирант  
E-mail: ilnar.badertdinov@gmail.com

Хузин А.Ф. – аспирант  
E-mail: airat-khuzin2010@yandex.ru

Габидуллин М.Г. – доктор технических наук, профессор  
E-mail: gabmah@mail.ru

Рахимов Р.З. – доктор технических наук, профессор  
E-mail: halima@kgasu.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет  
Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

### **Исследование влияния добавки КДУ-1, модифицированной углеродными нанотрубками, на физико-механические характеристики высокопрочного фибробетона**

#### **Аннотация**

Разработаны оптимальные составы экономичного бетона и фибробетона класса В45 при расходе цемента не более 360-380 кг/м<sup>3</sup> при сохранении водонепроницаемости более W10 и морозостойкости более F300 на базе ЖБИ «Казметрострой». Применительно к новым составам разработана технология получения ранней распалубочной прочности железобетонных изделий (более 15 МПа) в течение не более 8 часов при сохранении проектных показателей прочности бетона. Оценена эффективность влияния добавок для бетона и фибробетона, производимых ООО «Ресурс+» и модифицированных углеродными нанотрубками (УНТ) на кинетику набора прочности высокопрочного бетона.

**Ключевые слова:** фибробетон, сталефибробетон, стеклофибробетон, сталестеклофибробетон, углеродные нанотрубки, многоуровневое армирование, стальная фибра, стеклянная фибра.

#### **Введение**

Применение дисперсноармированных материалов, в частности сталефибробетона и стеклофибробетона, является одним из перспективных направлений развития строительного производства. Исследования этого материала проводятся во всем мире [1, 2]. Особый интерес представляет сталефибробетон на основе сверхвысокопрочного порошкового бетона-матрицы [3-5]. Известно, что добавление стальной фибры улучшает физико-механические характеристики бетона, такие как прочность на сжатие и особенно прочность на растяжение, повышает пластичность, трещиностойкость, ударную вязкость [6, 7]. Большое значение для понимания работы материала и применения его на практике имеет изучение реологических характеристик сталестеклофибробетона.

Область использования бетона: железобетонные (фибробетонные) блоки обделки перегонных тоннелей Казанского метрополитена, получаемые из высокопрочного (В45) и водонепроницаемого (W>10) бетона.

#### **Материалы, использованные в исследованиях**

В испытаниях были использованы материалы бетонной смеси, заложенные в патенте [8] на состав бетона и которые используются для производства железобетонных блоков обделки перегонных тоннелей Казанского метрополитена на заводе ЖБИ «Казметрострой».

При обосновании выбора исходных материалов для разработки состава высококачественного бетона (ВКБ), обладающего высокими показателями по прочности, водонепроницаемости и морозостойкости, в качестве основного регламентирующего документа использовали ТУ-5865-001-00043920-96 [9].

За основу в качестве бетона-матрицы был выбран разработанный оптимальный состав бетона. Основные характеристики использованных материалов приведены ниже.

**Вяжущее:** в исследованиях применялись цементы 3 заводов-производителей, которые используются на заводе ЖБИ «Казметрострой»:

- портландцемент марки ПЦ 500-ДО-Н ГОСТ 10178-85 ОАО «Вольскцемент», Саратовская обл., г. Вольск;
- портландцемент марки ПЦ 500-ДО-Б ГОСТ 10178-85 ОАО «Мордовцемент», Республика Мордовия, пгт. Комсомольский;
- портландцемент марки ПЦ 500-ДО-Н ГОСТ 10178-85 ЗАО «Осколцемент».

**Крупный заполнитель:** применяли щебень фракции 5-20 мм марки по прочности (дробимости) «1200» из плотных габбро-диоритовых горных пород для строительных работ по ГОСТ 8267-93 (Челябинская область, Саткинский р-н, р.п. Бердяуш).

**Мелкий заполнитель:** использовали песок, обогащенный, средний с модулем крупности 2,5 по ГОСТ 8736-93. (ПО «Нерудматериалы», г. Казань).

**Добавка:** в исследованиях использовались три вида модификаторов:

- суперпластификатор «Полипласт СП-1» по ТУ 5870-005-58042865-05 для контрольных составов;
- комплексная добавка «ЖДУ-1» по ТУ 5745-002-89182778-2012, ускоряющая твердение бетона и строительного раствора;
- углеродные нанотрубки «Graphistrength C 100» производства фирмы «Аркема» (Франция). Углеродные нанотрубки вводились в состав бетонной смеси в количестве 0,0005 % от расхода цемента.

Внешний вид фибры представлен на рис. 1.

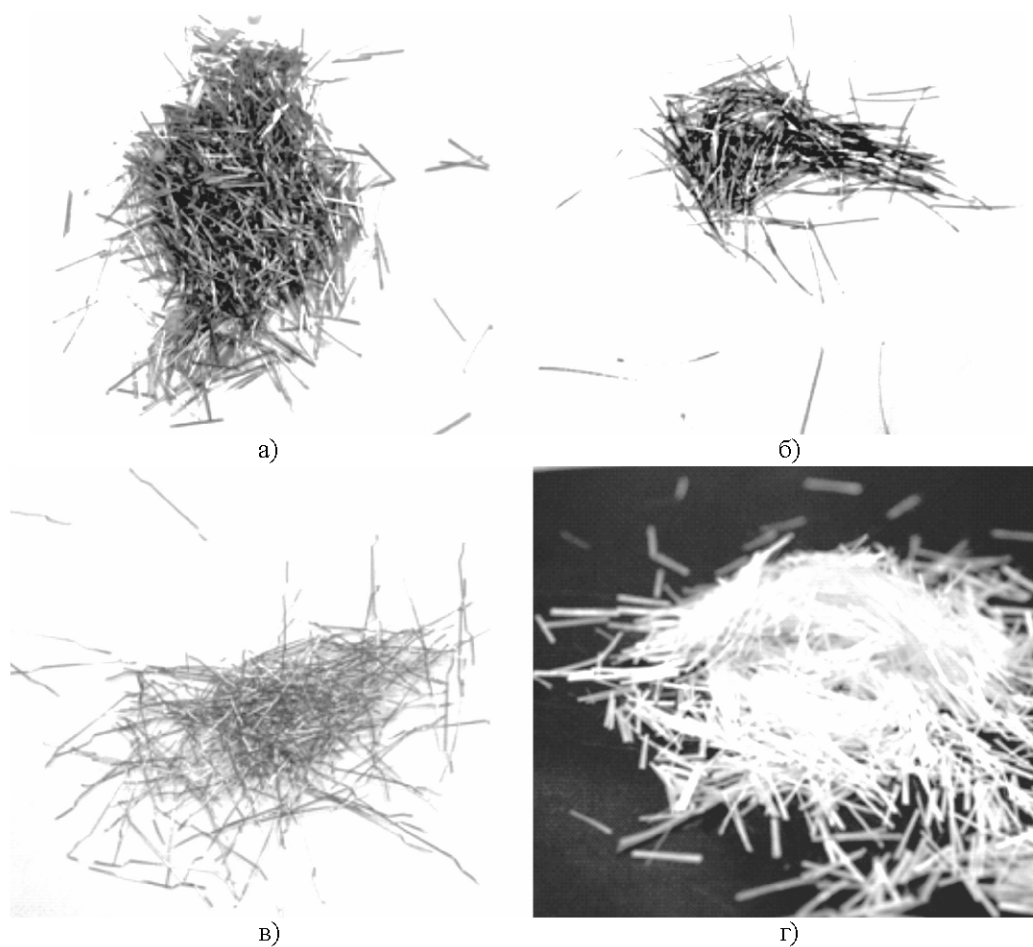


Рис. 1. Виды фибры, использованные в испытаниях:

- а) стальная фибра латунированная – мелкая – прямая  $d$  0,2 мм, длина 1 см;
- б) стальная фибра латунированная – средняя – прямая  $d$  0,2 мм, длина 2 см;
- в) стальная фибра латунированная – анкерная  $d$  0,2 мм, длина 4 см;
- г) стеклянная фибра  $d$  элементарной нити – 10-15 мкм, длина 1 см

**Фибра:** в исследованиях использовались четыре вида фибры:

- стальная фибра латунированная – мелкая – прямая  $d$  0,2 мм, длина 1 см;
- стальная фибра латунированная – средняя – прямая  $d$  0,2 мм, длина 2 см;
- стальная фибра латунированная – анкерная  $d$  0,2 мм, длина 4 см;

- стеклянная фибра (производство Китай) – бобина массой 18 кг (вид намотки – ровинг, в виде цилиндрической бухты без патронов, в котором внутренний конец скреплен с наружным). Жгут состоит из нескольких комплексных нитей, собранных из определенного количества (200-400 штук) элементарных нитей, склеенных на прямом замазливателе. Диаметр элементарной нити – 10-15 мкм. Свойства: сопротивление растяжению – 1,1-1,4 ГПа, модуль Юнга – 70-74 ГПа, растяжение на разрыв – 60 кгс, температура плавления – 830 °С, истинная плотность – 2700 кг/м<sup>3</sup>, средняя плотность – 1700-2250 кг/м<sup>3</sup>, влажность – менее 0,2 %. В лаборатории кафедры строительных материалов КазГАСУ были проведены длительные исследования по выбору вида стеклянной фибры и определению оптимальной длины фибры [10-13]. Для этого она была предварительно нарезана из бухты с помощью пистолета-ножа на волокна различной длины: 0,5; 1,0; 2,0 и 3 см. Результаты исследований позволили установить оптимальную длину фибры для разработанных составов сталестеклофибробетона класса В45, равную 1 и 2 см, которая и применялась в дальнейших исследованиях.

На базе лаборатории кафедры строительных материалов КазГАСУ предварительно была разработана технология [14, 15] приготовления наносуспензии на основе УНТ различных отечественных и зарубежных производителей и установлены составы в цементном камне и высокопрочном бетоне, обеспечивающие получение высоких физико-механических свойств бетонов. Впервые многочисленными экспериментами доказана эффективность введения УНТ для достижения высокой прочности цементного камня и бетона, особенно в ранние (через 8 часов) сроки твердения. Эти результаты были подтверждены и опытно-промышленными испытаниями на базе ЖБИ «Казметрострой».

На базе завода «РЕСУРС+» были проведены предварительные исследования эффективности влияния комплексной добавки КДУ-1, модифицированного УНТ на кинетику набора прочности бетона. Результаты, приведенные в таблице 1, показывают, что через 8 часов «мягкого» режима тепловлажностной обработки прочность бетона, модифицированного углеродными нанотрубками, на 87 % выше контрольного состава, а марочная прочность – выше на 38 %. Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что введение микродоз углеродных нанотрубок способствует значительному ускорению набора прочности бетонной смеси, особенно в ранние сроки твердения.

Таблица 1

Кинетика набора прочности бетона

№	Цемент, кг	Песок обогащенный, кг	Щебень, кг	Добавка КДУ-1, %	«Graphistrength» С100, %	Вода, л	Прочность образцов, МПа			
							8 час.	3 сут.	7 сут.	28 сут.
1	355	865	1120	1,6	-	130	15,1	29,2	33,3	49,7
2	355	865	1120	1,6	0,0005	130	28,2	54,4	59,7	68,4

На базе лаборатории завода ЖБИ «Казметрострой» были проведены исследования эффективности применения комплексной добавки КДУ-1, модифицированной углеродными нанотрубками, на кинетику набора прочности бетона класса В45 в соответствии с ГОСТ 10180-90. Исследовались составы с расходом цемента 490 и 355 кг/м<sup>3</sup>. Цель исследования – доказать возможность значительного снижения портландцемента, за счет введения комплексной добавки КДУ-1, модифицированного УНТ, при сохранении эксплуатационных свойств бетона класса В45, для блоков обделки метро.

Бетонную смесь готовили в лабораторной мешалке принудительного действия; технология приготовления смеси:

- дозирование в мешалку щебня, песка и цемента с последующим перемешиванием в сухом виде в течение 0,5 минут;
- добавление в мешалку воды с добавкой (СП-1 или КДУ-1, модифицированной УНТ) и перемешивание смеси в течение 2-2,5 минут;

- равномерное добавление во вращающуюся мешалку стальной и/или стеклянной фибры и окончательное перемешивание смеси в течение одной минуты.

После приготовления бетонную смесь выгружали в противень, определяли подвижность смеси и затем формовали на стандартной лабораторной виброплощадке контрольные образцы.

#### Результаты исследований и технология приготовления

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 10180-90. Для испытания на изгиб были изготовлены по 2 стандартных образца-балки каждого состава с размерами сторон 10x10x40 см. Все образцы испытаны в возрасте 28 суток твердения.

Результаты испытания прочности бетона на сжатие в возрасте 8 часов, 1,5; 3; 7 и 28 суток, а также прочность на изгиб в возрасте 28 суток приведены в таблицах 2-3. Добавка КДУ-1 на замес использовалась в количестве 1,6 % от массы цемента; СП-1 в количестве 9 л при расходе цемента 490 кг/м<sup>3</sup>; СП-1 в количестве 6,4 л при расходе цемента 355 кг/м<sup>3</sup>, а УНТ – 0,0005 % от массы цемента.

Результаты испытания прочности бетона на сжатие в возрасте 8 часов, 1,5; 3; 7 и 28 суток, а также прочность на изгиб в возрасте 28 суток составов с добавкой КДУ-1, модифицированной углеродными нанотрубками, представлены на рис. 2-5.

Таблица 2

#### Составы высокопрочного бетона

№ кривой	Вид добавки	Цемент, кг	Щебень, кг	Песок об., кг	Вода, л	Фибра лаг. стал. d 0,2 мм L=1 см, кг	Фибра лаг. стал. d 0,2 мм L=2 см, кг	Фибра лаг. стал. d 0,2 мм L=3 см, кг	Фибра стек., кг
Портландцемент 500 Д0 ЗАО «Осколцемент» (расход 490 кг/м <sup>3</sup> )									
1	СП-1	490	1200	685	160	-	-	-	-
2	КДУ-1	490	1200	685	140	-	-	-	-
Портландцемент 500 Д0 ЗАО «Осколцемент» (расход 355 кг/м <sup>3</sup> )									
3	СП-1	355	1190	795	160	-	-	-	-
4	КДУ-1	355	1190	795	135	-	-	-	-
5		355	1190	795	135	-	24	24	-
Портландцемент 500 Д0 «Вольскцемент» (расход 490 кг/м <sup>3</sup> )									
6	СП-1	490	1200	685	157	-	-	-	-
7	КДУ-1	490	1200	685	147	-	-	-	-
8		490	1200	685	147	-	24	24	2,45
9		490	1200	685	147	-	24	24	-
Портландцемент 500 Д0 «Вольскцемент» (расход 355 кг/м <sup>3</sup> )									
10	СП-1	355	1190	795	154	-	-	-	-
11	КДУ-1	355	1190	795	125	-	-	-	-
Портландцемент 500 Д0-Б «Мордовцемент» (расход 490 кг/м <sup>3</sup> )									
12	СП-1	490	1200	685	157	-	-	-	-
13	КДУ-1	490	1200	685	125	-	-	-	-
14		490	1200	685	125	48	-	24	-
15		490	1200	685	125	-	48	24	-
16		490	1200	685	125	24	24	24	-
17		490	1200	685	125	-	-	60	-
Портландцемент 500 Д0-Б «Мордовцемент» (расход 355 кг/м <sup>3</sup> )									
18	СП-1	355	1190	795	150	-	-	-	-
19	КДУ-1	355	1190	795	115	-	-	-	-

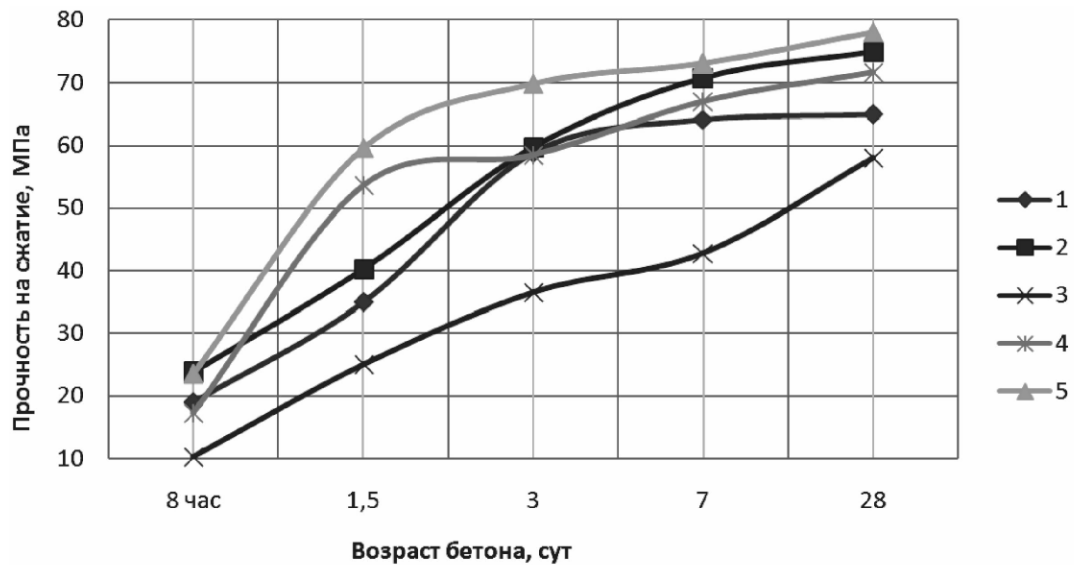


Рис. 2. Кинетика прочности бетона на сжатие на «Осколцементе» в зависимости от количества цемента, вида добавки и фибры (номер кривой соответствует номеру в табл. 1)

На рис. 2 представлены кинетика прочности на сжатии ВКБ на «Осколцементе» в зависимости от количества цемента, вида добавки и фибры. Видно, что:

- введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ, повышает прочность бетона на сжатие в возрасте 8 часов на 26 %, а 28 суток на 20 %, по сравнению с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ ;

- введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ, повышает прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток на 21 %, при расходе цемента  $355 \text{ кг/м}^3$ , по сравнению с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ ;

- введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ, стальной латунированной средней и анкерной фиброй в количестве по  $24 \text{ кг/м}^3$ , повышает прочность на сжатие сталефибробетона в возрасте 28 суток на 23 %, при расходе цемента  $355 \text{ кг/м}^3$ , по сравнению с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ .

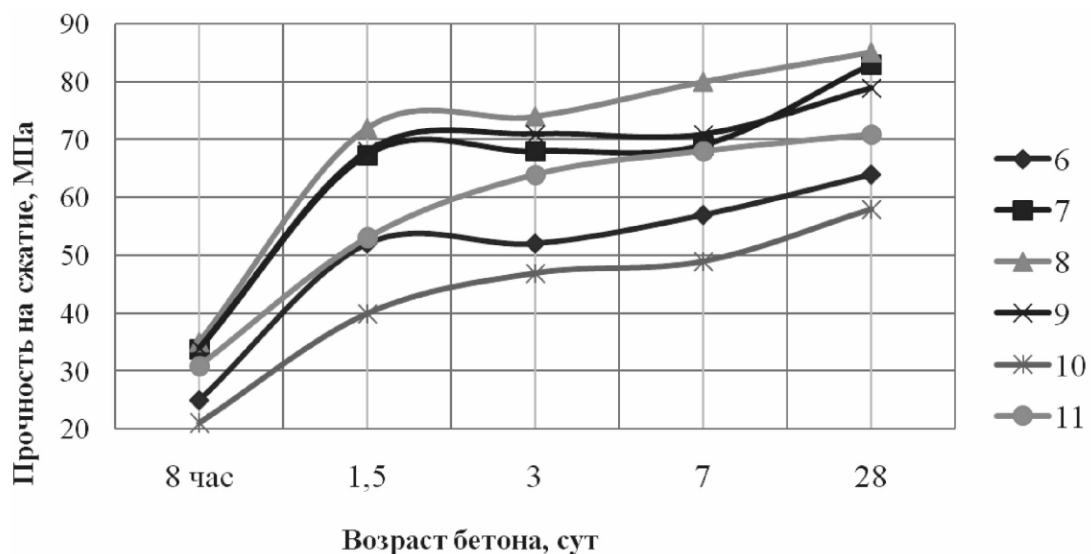


Рис. 3. Кинетика прочности бетона на сжатие на «Вольскцементе» в зависимости от количества цемента, вида добавки и фибры (номер кривой соответствует номеру в табл. 1)

На рис. 3 представлены кинетические кривые прочности на сжатие ВКБ на «Вольскцементе» в зависимости от его количества, вида добавки и фибры. Видно, что:

- введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ, повышает прочность бетона на сжатие в возрасте 8 часов на 41 %, а 28 суток на 30 %, по сравнению с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ ;

- введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ, повышает прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток на 11 %, при расходе цемента  $355 \text{ кг/м}^3$ , по сравнению с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ ;

- введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ, стальной латунированной средней и анкерной фиброй в количестве по  $24 \text{ кг/м}^3$ , повышает прочность на сжатие сталефибробетона в возрасте 28 суток на 33 %, по сравнению с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ ;

- введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ, стальной латунированной средней и анкерной фиброй по  $24 \text{ кг/м}^3$  и стеклянной фиброй, повышает прочность на сжатие сталестеклофибробетона в возрасте 28 суток на 35 %, по сравнению с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ .

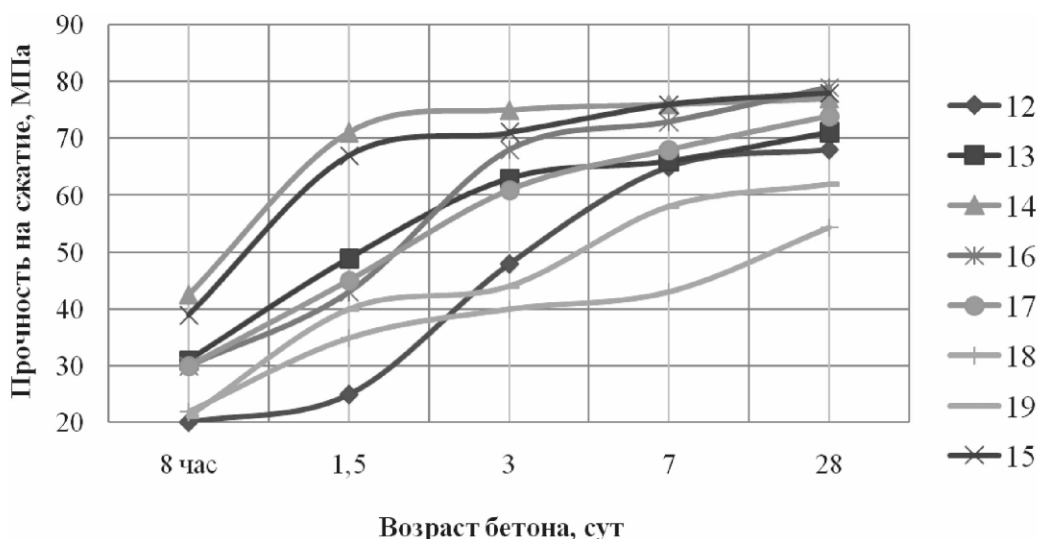


Рис. 4. Кинетика прочности бетона на сжатие на «Мордовцементе» в зависимости от количества цемента, вида добавки и фибры (номер кривой соответствует номеру в табл. 1)

На рис. 4 представлена кинетика прочности на сжатие ВКБ на «Мордовцементе» в зависимости от количества цемента, вида добавки и фибры. Видно, что:

- введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ, повышает прочность бетона на сжатие в возрасте 8 часов на 40 %, а 28 суток на 25 %, по сравнению с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ ;

- введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ и стальной латунированной мелкой и анкерной фиброй в количестве  $48$  и  $24 \text{ кг/м}^3$  соответственно, повышает прочность на сжатие сталефибробетона в возрасте 28 суток на 10 %, по сравнению с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ ;

- введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ и стальной латунированной средней и анкерной фиброй в количестве  $48$  и  $24 \text{ кг/м}^3$  соответственно, повышает прочность на сжатие сталефибробетона в возрасте 28 суток на 13 %, по сравнению с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ .

На основе полученных результатов было установлено, что добавка КДУ-1, унифицированной УНТ и фиброй, на «Вольскцементе» максимально увеличивает прочность на сжатие бетона и фибробетона в начальные сроки схватывания, а также в возрасте 28 суток. В связи с вышеизложенным были проведены испытания на растяжение при изгибе на «Вольскцементе». Результаты представлены на рис. 5.

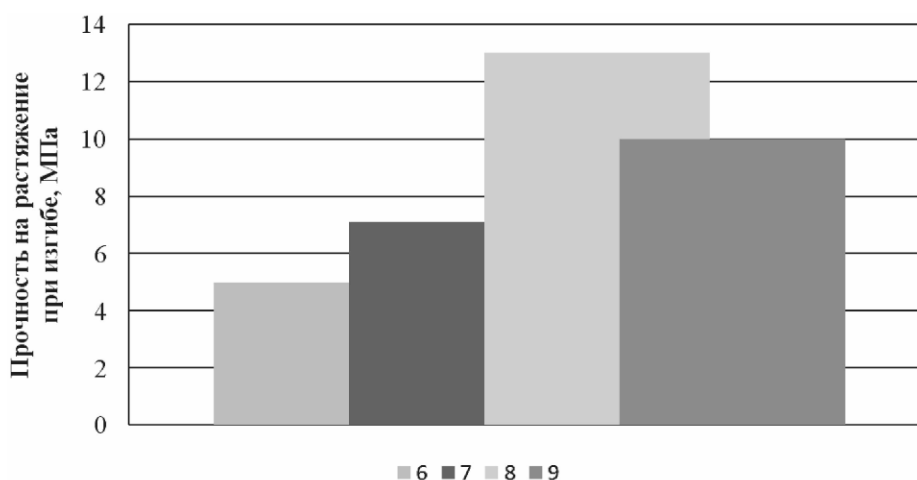


Рис. 5. Кинетика нарастания прочности бетона на растяжение при изгибе на «Вольскцементе» в зависимости от количества цемента, вида добавки и фибры (номер кривой соответствует номеру в табл. 1)

Как видно из рис. 5, введение добавки КДУ-1, модифицированной УНТ, повышает прочность бетона на растяжение при изгибе в возрасте 28 суток на 40 %, по сравнению с бетоном с добавкой СП-1, при расходе цемента  $490 \text{ кг/м}^3$ , для состава со стальной латунированной средней и анкерной фиброй в количестве  $24 \text{ кг/м}^3$ , увеличивает прочность на сжатие сталефибробетона на 100 %. В случае дополнительного введения в модифицированный сталефибробетон стеклянной фибры превышение прочности на растяжение при изгибе достигает 160 % по сравнению с составом на СП-1.

Представленные составы были испытаны на водонепроницаемость и морозостойкость, полученные значения превышают W 10 и F 300 соответственно.

### Заключение

Анализ результатов исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Установлено, что добавка КДУ-1, модифицированной УНТ и фиброй, на «Вольскцементе» максимально увеличивает прочность на сжатие бетона и фибробетона в начальные сроки твердения до 40 %, а также в возрасте 28 суток до 25 %.
2. При снижении расхода цемента с  $490 \text{ кг/м}^3$  до  $355 \text{ кг/м}^3$ , с добавкой КДУ-1, модифицированной углеродными нанотрубками, прочность бетона выше на 13 %, чем с добавкой СП-1.
3. Введение стальной и стеклянной фибры увеличивает прочность на растяжение при изгибе сталефибробетона до 100 %, сталестеклофибробетона до 160 %.
4. Добавка КДУ-1, модифицированной УНТ, повышает физико-механические характеристики фибробетона, что снижает расход цемента до 40 %.

### Список литературы

1. Beddar M. Fiber reinforced concrete: past, present and future // Научн. труды 2-й Всероссийской (междунар.) конф. по бетону и железобетону, Т. 3. – М., 2005. – С. 228-234.
2. Горб А.М., Войлоков И.А. Фибробетон – история вопроса, нормативная база, проблемы и решения // ALITInform международное аналитическое обозрение, 2009, № 2. – С. 34-43.
3. Schmidt M., Fehling E. Ultra-high-performance concrete: research, development and application in Europe // ACI Special publication, v. 228, 2005. – P. 51-78.
4. Almansour H., Lounus Z. Structural performance of precast prestressed bridge girders built with ultra high performance concrete // Institute for Research in construction, 2008-

- 03-07, The Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete, March 05-07, Kassel, Germany. – P. 822-830.
5. Arafa M., Shihada S., Karmout M. Mechanical properties of ultra high performance concrete produced in the Gaza Strip // *Asian Journal of Materials Science* 2 (1), 2010. – P. 1-12.
  6. Пухаренко Ю.В., Голубев В.Ю. Высокопрочный сталефибробетон // *Промышленное и гражданское строительство*, 2007, № 9. – С. 40-41.
  7. Мишина А.В., Андрианов А.А. Работа высокопрочного сталефибробетона при кратковременном нагружении // *Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2011 г.: научные труды РААСН: в 2-х т., Т. 2.* – М.: МГСУ, 2012. – С. 76-78.
  8. Патент № 2210552 от 16.04.2001 г. по заявке № 2001111538. Приоритет от 16.04.2001 Бетонная смесь // Рахимов Р.З., Габидуллин М.Г., Смирнов Д.С., Клементьев Г.А., Рахимов М.М., Хакимов Ф.С., Низембаев А.Ш., Давлетбаева Ф.И. Патентообладатель Габидуллин М.Г.
  9. ТУ 5865-001-00043920-96. Изделия сборные железобетонные для сооружений метрополитена. – М.: Корпорация «Трансстрой», МОО «Тоннельная ассоциация», 1996. – 28 с.
  10. Бадертдинов И.Р., Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З., Сабитов Л.С. Сталефибробетон на основе Челябинской фибры // *Достижения и проблемы строительного материаловедения и модернизации строительной индустрии: Материалы XV Академических чтений РААСН – Международная НТК.* – Казань: КазГАСУ, 2010. – С. 285-287.
  11. Багманов Р.Т., Шангараев А.Я., Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З. Исследование свойств стеклофибробетона с учетом влияния характеристик стеклофибры // *Достижения и проблемы строительного материаловедения и модернизации строительной индустрии: Материалы XV Академических чтений РААСН. Международная НТК.* – Казань: КазГАСУ, 2010. – С. 280-284.
  12. Габидуллин М.Г., Багманов Р.Т., Шангараев А.Я. Исследование влияния характеристик стеклофибры на физико-механические свойства стеклофибробетона // *Известия КГАСУ*, 2010, № 1 (13). – С. 268-273.
  13. Бадертдинов И.Р., Габидуллин М.Г. Лабораторно-технологическая апробация возможности регулирования прочности мелкозернисто бетона введением стальной фибры. // *Материалы V Всероссийской конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Теория и практика повышения эффективности строительных материалов».* – Пенза, 2010. – С.17-21.
  14. Габидуллин М.Г., Рахимов Р.З., Хузин А.Ф., Сулейманов Н.М., Хантимиров С.А., Габидуллин Б.М., Рахимов, М.М., Низембаев А.Ш. // *Сборник трудов IV Международной конференции «Нанотехнологии для экологичного и долговечного строительства».* – Изд-во ИжГТУ, 2012.
  15. Габидуллин М.Г., Хузин А.Ф., Сулейманов Н.М., Тогулев П.Н. Влияние добавки наномодификатора на основе углеродных нанотрубок на прочность цементного камня // *Известия КГАСУ*, 2011, № 2 (16). – С. 185-189.

**Badertdinov I.R.** – post-graduate student

E-mail: [ilnar.badertdinov@gmail.com](mailto:ilnar.badertdinov@gmail.com)

**Khuzin A.F.** – post-graduate student

E-mail: [airat-khuzin2010@yandex.ru](mailto:airat-khuzin2010@yandex.ru)

**Gabidullin M.G.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: [gabmah@mail.ru](mailto:gabmah@mail.ru)

**Rakhimov R.Z.** – doctor of technical sciences, professor

E-mail: [halima@kgasu.ru](mailto:halima@kgasu.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1



## Research of influence of an additive of KDU-1 modified by carbon nanotubes, on physicomechanical characteristics of high-strength fiberconcrete

### Resume

This work is dedicated to the analysis of influence of an additive of KDU-1 modified by carbon nanotubes, quantity and fiber type on the physicomechanical properties of concrete, steel-fiber-concrete, glass-fiberconcrete and steel-glass-fiberconcrete. To ensure closest relation of test results to real conditions, Kazmetrostroy concrete goods plant management and laboratory staff worked in a close correlation. The ingredients used in a concrete mixture were identical to those used for production of ferroconcrete blocks of distillation tunnels of the Kazan subway.

To determine deformative properties of fiberconcrete standard samples were made. Graphs of change of durability of concrete on compression and a bend were drawn on the basis of test results. Given research proves that two-level reinforcement of a matrix by a glass and steel fiber allows longer time operability of concrete at increased bending force and increases crack resistance. Applying developed additive (KDU-1 modified by carbon nanotubes) makes possible reduction of a cement consumption from 490 kg/m<sup>3</sup> to 355 kg/m<sup>3</sup>.

**Keywords:** fiber, Steel-Fiber-Reinforced-Concrete, Fiberglass Reinforced Concrete, layered reinforcement, carbon nanotubes, steel fiber, glass fiber.

### References

1. Beddar M. Fiber reinforced concrete: past, present and future // Scientific works of the 2nd All-Russian (International) Conference on concrete and reinforced concrete. – M., 2005, T. 3. – P. 228-234.
2. Gorb A.M., Voylov I.A. Fiber concrete – background, regulations, problems and solutions // ALITInform international analytical review, 2009, Number 2. – P. 34-43.
3. Schmidt M., Fehling E. Ultra-high-performance concrete: research, development and application in Europe // ACI Special publication, v. 228, 2005. – P. 51-78.
4. Almansour H., Lounus Z. Structural performance of precast prestressed bridge girders bolt with ultra high performance concrete // Institute for Research in construction, 2008-03-07, The Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete, March 05-07, Kassel, Germany. – P. 822-830.
5. Arafa M., Shihada S., Karmout M. Mechanical properties of ultra high performance concrete produced in the Gaza Strip // Asian Journal of Materials Science 2 (1), 2010. – P. 1-12.
6. Puharenko Y.V., Golubev V.Y. Ductile steel fiber concrete // Industrial and civil construction, 2007, Number 9. – P. 40-41.
7. Mishin, A.V., Andrianov A.A. Work for short high steel fiber concrete uploading // Basic research RAASN on scientific support in architecture, urban planning and construction industry of the Russian Federation in 2011: research papers RAASN. – M.: MGSU, 2012, T. 2. – P. 76-78.
8. Patent number 2210552 on 16.04.2001, on the application № 2001111538. Priority from 04.16.2001 concrete. // Rakhimov R.Z., Gabidullin M.G., Smirnov D.S., Clement G.A., Rakhimov M.M., Khakimov F.S., Nizembaev A.S., Davletbaeva F.I. Patentee Gabidullin M.G.
9. TU 5865-001-00043920-96. Precast concrete products for the construction of underground. – M. Corporation «Transstroy» IPO «Tunnel Association», 1996. – 28 p.
10. Badertdinov I.R., Gabidullin M.G., Rakhimov R.Z., Sabitov L.S. Steelfiber concrete based Chelyabinsk fiber // Achievements and challenges of building materials and modernization of the construction industry: Articles XV Academic readings RAASN. International STC. – Kazan: KGASU, 2010. – P. 285-287.
11. Bagmanov R.T., Shangaraev A.J., Gabidullin M.G., Rakhimov R.Z. Investigation of the properties with the glass-performance effects steel fiber // Achievements and challenges of building materials and construction industry modernization: Articles XV Academic readings RAASN. International STC. – Kazan: KGASU, 2010. – P. 280-284.

12. Gabidullin M.G., Bagmanov R.T., Shangaraev A.J. Investigation of the influence of characteristics steel fiber on physical and mechanical properties of glass-fiber // Proceedings of the Kazan State Architectural University, 2010, № 1 (13). – P. 268-273.
13. Badertdinov I.R., Gabidullin M.G. Laboratory testing capabilities and technological strength of a fine-grained management of the introduction of steel fiber concrete. // Proceedings of the V All-Russian Conference of Students and Young Scientists «Theory and practice more effective materials». – Penza, 2010. – P. 17-21.
14. Gabidullin M.G., Rakhimov R.Z., Khuzin A.F., Suleimanov N.M., Hantimirov S.A., Gabidullin B.M., Rakhimov, M.M., Nizembaev A.S. // Proceedings of the IV International Conference «Nanotechnology for sustainable and durable construction». IzhSTU Publishing, 2012.
15. Gabidullin M.G., Khuzin A.F., Suleimanov N.M., Togulev P.N. The influence of additives nanomodifiers based on carbon nanotubes for strength cement // «News» KGASU, 2011, № 2 (16). – P.185-189.