

УДК 666.972.16

**Хузин А.Ф.** – кандидат технических наук, ассистент

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

**Ибрагимов Р.А.** – кандидат технических наук, доцент

E-mail: [rusmag007@yandex.com](mailto:rusmag007@yandex.com)

**Казанский государственный архитектурно-строительный университет**

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зелёная, д. 1

### **Физико-механические свойства высокопрочного бетона, модифицированного комплексной добавкой**

#### **Аннотация**

В данной работе рассмотрено влияние комплексной добавки, содержащей ускоритель твердения Ремикрет SP11 и углеродные нанотрубки (TUBALL) на физико-механические характеристики высокопрочного бетона с различным расходом цемента. Исследовано влияние добавок на кинетику набора прочности и морозостойкость бетона. Установлено, что введение указанных добавок приводит к увеличению прочности бетона при сжатии как в марочном возрасте, так и в ранние сроки твердения.

**Ключевые слова:** бетон, прочность, комплексная добавка, углеродные нанотрубки

#### **Введение**

В результате химических процессов, происходящих при взаимодействии цемента с водой прочность бетона в процессе гидратации смеси увеличивается. Под влиянием различных факторов скорость химических реакций может замедляться и ускоряться. От этого же будет зависеть показатель прочности бетона.

Выделяют следующие основные факторы, влияющие на прочность бетона:

- активность цемента;
- процентное содержание цемента;
- соотношение цемента и воды в растворе;
- технические характеристики и качество наполнителей;
- качество смешивания составляющих бетонной смеси;
- степень уплотнения;
- время, затраченное на твердение раствора;
- внешние условия (температура воздуха и влажность среды);
- применение повторного вибрирования.

Оптимальное сочетание большинства факторов предполагает получение наилучших физико-механических характеристик.

На современном этапе развития строительного материаловедения все большую популярность получают исследования по разработке комплексных модифицирующих добавок, содержащих наноразмерные частицы, в частности одно и многослойные углеродные нанотрубки [1-4].

Так же одним из эффективных способов влияния на структуру и свойства вяжущих веществ является механоактивация сырья или активационное измельчение, состоящее в диспергировании вещества при механических усилиях, превышающих нагрузки в обычных шаровых мельницах [5].

В результате разрушения минералов изменяются длины и углы межатомных связей, электронная структура и химический состав веществ. За счет возникновения точечных дефектов, дислокаций и деформаций происходит разрыв связей между фрагментами структуры, завершающийся переходом части вещества в высокорекреационное состояние. В работе [6] установлено, что активация цементной шихты в планетарной шаровой мельнице «Активатор-2SL» приводит к увеличению прочности изделий на основе портландцемента при сжатии на 20-47 %, при изгибе – на 11-30 %; клинкера – соответственно на 19,7-42,5 % и 5,3-30,6 %.

Механоактивация в жидкой среде позволяет значительно уменьшить средний размер частиц вяжущего, что способствует ускорению твердения тяжелого бетона [7, 8].

### Материалы и методы исследования

В данной работе приведены исследования по влиянию УНТ на основные свойства высокопрочного бетона.

Экспериментальные работы выполнялись с использованием портландцемента ЦЕМ Ш/А 32.5Н Ульяновского завода. В качестве мелкого заполнителя использовался песок Камско-Устьинского месторождения с модулем крупности 2.7. В качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень фракции 5-20 мм.

Для приготовления бетонной смеси использовали водопроводную воду, в которой предварительно размешивалась суспензия УНТ в водном растворе гиперпластификатора (ГП). Для обеспечения однородности данной суспензии все ее компоненты предварительно подвергались ультразвуковой диспергации. Время ультразвукового диспергирования составило 3.5 мин, мощность – 100 Вт, объем суспензии – 100 мл. В качестве ГП использовалась добавка Remicrete SP11 (на основе эфира поликарбоксилата). В составе комплексной добавки, содержащей ГП использовали одностенные УНТ «TUBALL» компании OCSIAL (далее ОУНТ) с удельной геометрической поверхностью 90-130 м<sup>2</sup>/г.

Механохимическую активацию (МХА) цементной суспензии проводили в роторно-пульсационном аппарате (РПА) с частотой вращения рабочего органа 5000 об/мин, выпускаемого по ТУ 5132-001-70447062.

Прочность образцов определяли в соответствии с ГОСТ 18105-2010.

Морозостойкость тяжелого бетона определяли по ГОСТ 10060-2012, гармонизированным в соответствии с EN 12390-9:2006. Показатели поровой структуры определяли в соответствии с ГОСТ 12730.4-78.

Из приготовленных смесей были изготовлены образцы кубы размерами 10,0х10,0х10,0 см, которые после распалубки хранились в комнатных условиях при нормальном температурно-влажностном режиме.

### Результаты исследований

С целью определения влияния комплексной добавки на физико-механические характеристики высокопрочного бетона, были изготовлены составы бетонной смеси, указанные в табл. 1. Водоцементное отношение (В/Ц) составов принималось исходя из обеспечения одинаковой подвижности ПЗ по ГОСТ 7473-2010.

Таблица 1

Составы бетонных смесей для испытаний

№	Расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>			Дозировка добавок, % от масс. цемента		В/Ц
	Цемент	Песок	Щебень	ГП	УНТ	
1	500	555	1215	-	-	0,42
2	500	555	1215	1	-	0,3
3*	500	555	1215	1	5xE-5	0,3
4	400	587	1283	-	-	0,47
5	400	587	1283	1	-	0,32
6*	400	587	1283	1	5xE-5	0,32
7	300	618	1352	-	-	0,55
8	300	618	1352	1	-	0,36
9*	300	618	1352	1	5xE-5	0,35

Примечание: \* – составы, полученные механоактивацией вяжущего.

В/Ц составов, модифицированной ГП значительно ниже контрольных составов. Так, при расходе цемента на 500 кг/м<sup>3</sup> В/Ц сокращается на 28,5 %, при расходе цемента 400 кг/м<sup>3</sup> – на 32 %, при расходе цемента 300 кг/м<sup>3</sup> – 36 %.

Кинетика твердения, морозостойкость и общая пористость тяжелого бетона представлены в табл. 2.

Номера составов в табл. 2 соответствуют составам в табл. 1.

Таблица 2

## Физико-механические характеристики тяжелого бетона

№	Плотность бетона, кг/м <sup>3</sup>	Прочность бетона при сжатии, МПа			Морозостойкость, F Пористость, %
		1 сут.	3 сут.	28 сут.	
1	2432	<u>11,8</u> 100 %	<u>28,3</u> 100 %	<u>46,2</u> 100 %	<u>200</u> 5,69
2	2550	<u>14,4</u> 122 %	<u>51,4</u> 182 %	<u>74,3</u> 161 %	<u>500</u> 4,77
3	2510	<u>28,0</u> 237 %	<u>59,6</u> 211 %	<u>79,4</u> 172 %	<u>500</u> 4,05
4	2470	<u>7,95</u> 100 %	<u>21,6</u> 100 %	<u>38,4</u> 100 %	<u>200</u> 4,63
5	2536	<u>9,22</u> 116 %	<u>42,8</u> 198 %	<u>58,7</u> 153 %	<u>400</u> 3,74
6	2532	<u>21,1</u> 266 %	<u>54,0</u> 250 %	<u>67,9</u> 177 %	<u>400</u> 2,935
7	2450	<u>3,81</u> 100 %	<u>14,4</u> 100 %	<u>30,0</u> 100 %	<u>150</u> 4,82
8	2510	<u>4,6</u> 121 %	<u>35,8</u> 248 %	<u>49,56</u> 165 %	<u>300</u> 3,8
9	2540	<u>14,4</u> 377 %	<u>46,6</u> 323 %	<u>59,1</u> 197 %	<u>300</u> 2,7

**Заключение**

Из данных, приведенных в табл. 1-2 установлено, что введение в бетонную смесь добавки гиперпластификатора приводит к ускорению набора прочности бетона в ранние сроки твердения (в возрасте 1-3 суток) и повышению итоговой марочной прочности при различном расходе цемента. Так, введение добавки в бетонную смесь с расходом цемента 500, 400 и 300 кг/м<sup>3</sup> и приводит к увеличению прочности бетона в марочном возрасте на 61, 53 и 65 % соответственно.

Еще более высокие результаты получены при модификации бетонной смеси комплексной добавкой, содержащей гиперпластификатор и углеродные нанотрубки, полученной путем предварительной обработки в механоактиваторе. Введение указанной добавки способствует увеличению прочности бетона при сжатии в возрасте 1 суток в 2,37 раза (при расходе цемента 500 кг/м<sup>3</sup>), в 2,66 раза (при расходе цемента 400 кг/м<sup>3</sup>) и в 3,77 раза (при расходе цемента 300 кг/м<sup>3</sup>).

Резкое повышение прочности на сжатие тяжелого бетона способствует и повышению его морозостойкости. Так, морозостойкость тяжелого бетона повышается на 150-300 циклов в зависимости от расхода цемента на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси. При этом, морозостойкость бетона, модифицированного только добавкой ГП и бетона, полученного активацией вяжущего, повышается в равной степени.

Повышение морозостойкости бетона обуславливается снижением его общей пористости. Общая пористость тяжелого бетона понижается на 1,64-2,12 % по сравнению с контрольным составом, при этом наибольшее снижение пористости наблюдается при наименьшем содержании цемента в составе бетонной смеси.

В составах, полученных механоактивацией вяжущего наблюдается понижение общей пористости. Это связано с диспергацией частиц цемента при механоактивации, что приводит к увеличению степени гидратации цемента, и как следствие к образованию более плотной структуры.

**Список библиографических ссылок**

1. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Кодолов В.И., Крутиков В.А., Фишер Ф.-Б., Керене Я. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками // Строительные материалы, № 3, 2009. – С. 99-102.

2. Изотов В.С., Ибрагимов Р.А. Химические добавки для бетона. – М.: Изд-во Инфинити, 2015. – 318 с.
3. Sobolev K. and Ferrada-Gutierrez M., How Nanotechnology Can Change the Concrete World: Part 1. American Ceramic Society Bulletin, № 10, 2005. – P. 14-17.
4. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete-A review. Construction and Building Materials, 2010, 24. – P. 2060-2071.
5. Хохряков О.В., Морозов Н.М., Хозин В.Г. Сравнительная оценка мельниц по размолоспособности кварцевого песка и его эффективности в цементных бетонах // Известия КГАСУ, 2011, № 1 (15). – С. 177-181.
6. Цыплаков Д.С., Корнилов А.В., Лыгина Т.З., Пермьяков Е.Н. Механоактивация цементных сырьевых смесей и клинкера в планетарной мельнице «Активатор-2SL» // Вестник КТУ, 2013, т. 16, № 22. – С. 60-61.
7. Ибрагимов Р.А., Пименов С.И., Изотов В.С. Влияние механохимической активации вяжущего на свойства мелкозернистого бетона // Инженерно-строительный журнал, 2015, № 2 (54). – С. 63-69.
8. Fathollah S. Mechanical activation of cement-slag mortars // Construction and Building Materials 01/2012; 26(1-1). – P. 41-48.

**Khuzin A.F.** – candidate of technical sciences, assistant

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

**Ibragimov R.A.** – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: [rusmag007@yandex.ru](mailto:rusmag007@yandex.ru)

**Kazan State University of Architecture and Engineering**

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

### **Physico-mechanical properties of high strength concrete modified by complex additive**

#### **Resume**

One of the most effective ways of influencing the structure and properties of cement compositions, is the activation of the binder, consists in dispersing the particles to sub-micron components.

Good results are obtained when the modification of concrete mix complex additive containing hyper plasticizer and carbon nanotubes obtained by the pretreatment mechanic activator. The introduction of this additive increases the compressive strength of concrete at the age of 1 day to 2,37 times (at a rate of 500 kg cement / m<sup>3</sup>) 2,66 times (at a rate of 400 kg cement / m<sup>3</sup>) and 3,77 times (at cement consumption of 300 kg / m<sup>3</sup>).

Frost heavy concrete rises to 150-300 cycles, depending on the flow of cement per 1 m<sup>3</sup> of concrete. Thus, the frost resistance of concrete, modified only by hyper plasticizer and concrete prepared by activation of the binder increases equally.

Increasing frost resistance of concrete is caused by a decrease in its total porosity. The total porosity of heavy concrete is reduced to 1,64-2,12 % compared to the control composition with the greatest reduction observed at the lowest porosity of the cement content of the concrete composition mixture.

**Keywords:** concrete, strength, complex additive, carbon nanotubes.

#### **Reference list**

1. Yakovlev G.I., Pershin G.N., Buryanov A.F., Kodolov V.I., Krutikov V.A., Fisher F.B., Keren H. Modification of porous cement matrix carbon nanotubes // Building materials, 2009, № 3. – P. 99-102.
2. Izotov V.S., Ibragimov R.A. Chemical additives for concrete. – М.: Publishing House of Infiniti, 2015. – 318 p.

3. Sobolev K., Ferrada-Gutierrez M. How Nanotechnology Can Change the Concrete World: Part 1. American Ceramic Society Bulletin, 2005, № 10. – P. 14-17.
4. Sanchez F., Sobolev K. Nanotechnology in concrete-A review. Construction and Building Materials, 2010, 24. – P. 2060-2071.
5. Khokhryakov O.V., Morozov N.M., Khozin V.G. Comparative evaluation of grindability mills, quartz sand, and its efficiency in cement concrete // Izvestiya KGASU, 2011, № 1 (15). – P. 177-181.
6. Zyplakov D.S., Kornilov A.V., Lygina T.Z., Permiakov E.N. Mechanical activation of cement raw meal and clinker in a planetary mill «Activator-2SL» // Bulletin of KTU, v. 16, 2013, № 22. – P. 60-61.
7. Ibragimov R.A., Pimenov S.I., Izotov V.S. Effect of mechanical activation on the binding properties of fine-grained concrete // Journal of Civil Engineering, 2015, № 2 (54). – P. 63-69.
8. Fathollah S. Mechanical activation of cement-slag mortars // Construction and Building Materials 01/2012; 26(1-1). – P. 41-48.