

Разработка состава наномодифицированного цемента

Д.А. Ляшенко, В.А. Перфилов, С.В. Лукьяница, В.В. Лупиногин

Волгоградский Государственный Технический Университет

Аннотация: В статье рассмотрена актуальность применения наномодифицированных бетонов в строительстве. Приведены составы исследуемых смесей, а также способы их приготовления с применением ультразвукового диспергирования, получены результаты эксперимента на разрушающее воздействие стандартных образцов балочек. Приведены выводы полученных экспериментальных данных.

Ключевые слова: бетон, нанобетон, углеродные нанотрубки, суперпластификатор, диспергирование.

Бетон является самым распространенным строительным материалом во всем мире. В связи с этим множество исследований направлено на улучшение свойств получаемых бетонных смесей. Одним из таких направлений является снижение содержания цементного вяжущего в составе за счет использования дополнительных цементирующих материалов, таких, как микро- и нанокремнезем, различные углеродные добавки, такие, как углеродные нанотрубки (УНТ), зола уноса, шлак и др. Нанотехнологии нашли свое применение и в строительной отрасли, где их используют при производстве лакокрасочных материалов, различных полимерных и стеклянных материалов, помимо этого имеются исследования в области применения наноразмерных частиц для повышения эксплуатационных характеристик бетонов [1]. Исследования в области нанотехнологий бетона позволили определить, что на химические и физические свойства продуктов гидратации цемента можно влиять на наноуровне. Таким образом, УНТ с их высокой удельной площадью поверхности и исключительными физико-механическими свойствами, а именно, соотношение сторон 1:1000, а также прочность на растяжение до 60 ГПа стали одним из самых эффективных добавок в бетоны [2].

Как известно, для строительных материалов на основе цементных вяжущих, характерны низкая прочность на растяжение и низкие показатели

на сопротивление деформациям. Процесс растрескивания бетона начинается с образования под воздействием внешних сил нанотрещин, которые при объединении образуют микро- и макротрещины. Таким образом, наноразмерное растрескивание оказывает большое влияние на характеристики бетонных композитов с точки зрения механических свойств. Этот факт способствовал применению наноразмерных частиц как армирующих бетон для снижения распространения нанотрещин. Множество исследований направлено на упрочнение бетонов с применением УНТ [3-5].

Установлено [6-8], что введение в состав минеральных вяжущих УНТ приводит к структурированию и появлению кристаллогидратных новообразований имеющих повышенную плотность и прочность. Исследования в этой области [9,10] свидетельствуют о повышении прочности наномодифицированных бетонов на 15-20%.

Углеродные нанотрубки - это полые трубки, состоящие из одного или нескольких слоев атомов углерода. Они могут иметь размер одного или нескольких нанометров в диаметре и по длине нескольких микронов. Углерод имеет высокую прочность, что и оправдывает огромные показатели прочности УНТ, также они абсолютно инертны как к кислотам, так и к щелочам. Нанотрубки, введенные в бетонную смесь, оказывают армирующий эффект, а также регулируют кристаллизационные процессы, делая цементный камень композитным материалом. Оптимальное количество таких добавок составляет 0,005 – 0,01% от массы вяжущего [11]. Несмотря на столь малое количество в составе, они проявляют себя как «зародыши» вытянутых кристаллов протяженной формы. Постепенно кристаллы разрастаются и переплетаются, частично прорастая друг в друга, тем самым образуя пространственную связь, которая связывает весь цементный камень в единое целое.

Помимо этого, имеются работы направленные на изучения свойств бетонов с совместным применением различного вида фиброволокон и нанодобавок [12].

На сегодняшний день существует множество исследований наномодифицированных бетонов, однако разработано малое количество конкретных составов с применением нанодобавок, в связи с этим такие бетоны редко применяются на практике. Исходя из этого, подбор и разработка составов нанобетонов чрезвычайно актуальны. Данная работа направлена на получение экспериментальных данных, подтверждающих актуальность применения бетонов, модифицированных углеродными нанотрубками.

Используемые материалы.

Цемент производства «Себряковцемент», кварцевый песок, суперпластификатор СП-3, углеродные нанотрубки Таунит-М: внешний диаметр трубок – 10-30 нм; внутренний диаметр – 5-15 нм; длина трубок - ≥ 2 мкм, удельная поверхность - $\geq 270 \text{ м}^2/\text{г}$; насыпная плотность – 0,025-0,06 г/см³.

Составы смесей и их приготовление.

Для проведения испытаний был подобран контрольный состав С-1, который включает в себя цементное вяжущее, песок и воду. Соотношение компонентов подбиралось, исходя из определения подвижности смеси, для полученного состава расплыв конуса составил 106 мм, что соответствует ГОСТ 30744-2001. Далее, для сравнения показателей были приготовлены смеси с применением суперпластификатора СП-3. Согласно техническому паспорту, оптимальное количество вводимого пластификатора находится в пределах от 0,5 до 1% от массы цемента. Введение пластификатора производилось механическим размешиванием с водой затворения в одном случае и с помощью диспергирования ультразвуковым генератором УЗГ 13-

0,1/22 в другом. Применение метода диспергирования позволило сократить количество суперпластификатора с 0,6% до 0,5% от массы вяжущего без потери подвижности смеси. Анализ литературных данных показал, что оптимальное количество вводимых УНТ находится в пределах 0,005 – 0,01 % от массы вяжущего вещества. Исходя из этого, были подготовлены еще 3 состава с совместным применением пластификатора СП-3 и нанотрубок Таунти-М с введением в состав 0,005, 0,0075 и 0,01% от массы вяжущего соответственно. Углеродные нанотрубки и пластификатор вводились в воду затворения при помощи диспергирования ультразвуковым генератором УЗГ 13-0,1/22 в течение 3-х минут.

Ниже приведена таблица исследуемых составов. В качестве контрольных образцов были выбраны образцы балочки состава С-1, не включающие в себя добавки. Помимо этого были исследованы составы с применением суперпластификатора (С-2; С-3) и с совместным применением УНТ и пластификатора (С-4;С-5;С-6).

Таблица №1

Составы исследуемых смесей

| | С-1 | С-2 | С-3 | С-4 | С-5 | С-6 |
|----------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Цемент,г | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Песок, г | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |
| Вода, г | 240 | 190 | 190 | 190 | 190 | 210 |
| СП-3, г | - | 3 | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,5 |
| УНТ, г | - | - | - | 0,003 | 0,004 | 0,005 |

Проведение испытаний.

Для определения прочностных характеристик были проведены стандартные испытания образцов балочек размером 40x40x160 мм согласно ГОСТ 30744-2001. На основе проведенного эксперимента были получены

данные о пределах прочности при изгибе и сжатии 6 составов. Все образцы выдерживались в течение 28 суток согласно ГОСТ 30744-2001. По истечении срока полученные образцы были испытаны на разрушающее воздействие при изгибе и сжатии. Полученные результаты приведены в таблицах 2 и 3

Таблица №2

Прочностные характеристики составов без применения УНТ

| $R_{c1изг}$ | $R_{c1сж}$ | | $R_{c2изг}$ | $R_{c2сж}$ | | $R_{c3изг}$ | $R_{c3сж}$ | |
|----------------|----------------|------|----------------|----------------|------|----------------|----------------|------|
| 5,2 | 28 | 25,7 | 5,9 | 37,8 | 43,1 | 6,3 | 38 | 38,2 |
| 5,6 | 27,7 | 26,8 | 6,1 | 25,7 | 32,3 | 6,8 | 35,1 | 28,4 |
| 5,8 | 29,3 | 27,1 | 5,6 | 40,6 | 34,2 | 6,2 | 35,2 | 36,2 |
| $\bar{R}=5,53$ | $\bar{R}=27,4$ | | $\bar{R}=5,86$ | $\bar{R}=35,6$ | | $\bar{R}=6,43$ | $\bar{R}=35,2$ | |

Таким образом, полученные результаты показаний прочности при изгибе состава С-2 больше чем С-1 на 5,6 %, для состава С-3 больше чем С-1 на 14%, показания прочности при сжатии для образцов состава С-2 и С-3 больше чем С-1 на 23 %.

Таблица №3

Прочностные характеристики составов с применения УНТ

| $R_{c4изг}$ | $R_{c4сж}$ | | $R_{c5изг}$ | $R_{c5сж}$ | | $R_{c6изг}$ | $R_{c6сж}$ | |
|----------------|----------------|------|----------------|----------------|------|---------------|----------------|------|
| 6,9 | 39,7 | 37,1 | 6,8 | 39,2 | 41,4 | 7,1 | 43,4 | 37,3 |
| 6,7 | 38,2 | 34,5 | 6,4 | 38,4 | 39,1 | 6,9 | 42,6 | 40,1 |
| 6 | 34,3 | 35,6 | 6,7 | 39 | 41,3 | 6,4 | 39,5 | 38,4 |
| $\bar{R}=6,53$ | $\bar{R}=37,4$ | | $\bar{R}=6,63$ | $\bar{R}=39,7$ | | $\bar{R}=6,8$ | $\bar{R}=40,2$ | |

Таким образом, полученные результаты показаний прочности в сравнении контрольного состава и составов с применением УНТ при изгибе состава С-4 больше чем С-1 на 15,3 %, для состава С-5 больше чем С-1 на

16,6 %, для состава С-6 больше чем С-1 на 18,7 %. Показания прочности при сжатии для образцов состава С-4 больше чем С-1 на 26,7 %, для состава С-5 больше чем С-1 на 31 %, для состава С-6 больше чем С-1 на 31,8 %.

Если сравнивать образцы с использованием пластификатора и составы с совместным применением пластификатора и УНТ, то показатели предела прочности при изгибе для состава С-4 больше чем С-3 на 1,5 %, для состава С-5 больше чем С-3 на 3 %, для состава С-6 больше чем С-3 на 5,4 %. Показания прочности при сжатии для образцов состава С-4 больше чем С-3 на 5,8 %, для состава С-5 больше чем С-3 на 11,3 %, для состава С-6 больше чем С-3 на 12,4 %.

Для большей наглядности ниже представлены графики пределов прочности при изгибе и сжатии.

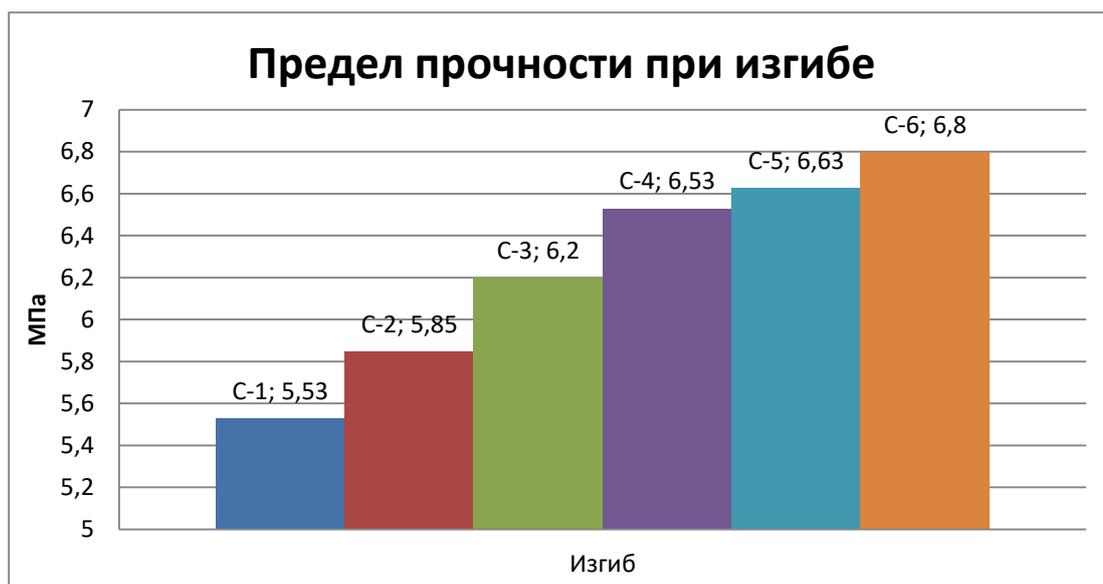


График 1. Предел прочности образцов при изгибе

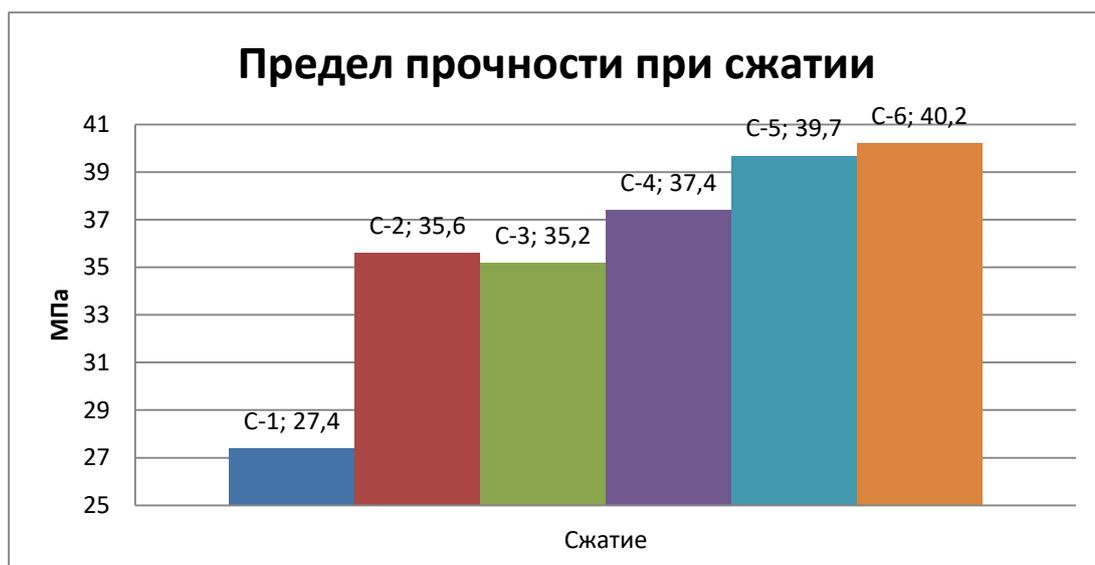


График 2. Предел прочности образцов при сжатии

Выводы.

Введение в состав пластификатора позволило увеличить показатели прочности при изгибе и сжатии на 5 % и 23 % соответственно, а также позволило сократить количество воды затворения на 16 %. Использование технологии диспергирования позволило сократить количество пластификатора с 0,5 % до 0,6 % от массы вяжущего. Максимальную прочность показали образцы с совместным применением пластификатора СП-3 и УНТ в количестве 0,5 % и 0,01 % от массы вяжущего соответственно. Эти образцы оказались прочнее контрольных образцов при изгибе на 16,6 % и 31 % при сжатии. Введение в состав УНТ увеличило прочность в сравнении с составами с применением только пластификатора на 5,4 % при изгибе и на 12,4 % при сжатии. Таким образом, полученные данные говорят об эффективности применения данных составов. Однако для более детального изучения влияния введения нанодобавок на прочностные характеристики требуется проведение дополнительных испытаний для определения тенденции повышения прочности, а также для подбора наиболее оптимального состава бетона.

Литература

1. Кудрявцев П.Г., Фиговский О.Л. Нанокompозитные органоминеральные гибридные материалы // Инженерный вестник Дона. 2014. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2476
2. Hawreen A., Bogas J., Kurda R. Mechanical Characterization of Concrete Reinforced with Different Types of Carbon Nanotubes // Arabian Journal for Science and Engineering, 2019. vol. 44. pp. 8361-8376.
3. Матус Е.П. Влияние нанодобавок на физико-механические свойства дисперсно-армированного бетона // Современное строительство и архитектура. 2018. №1. С. 5-9.
4. Шеина Т.В., Маслов М.Ю. Нанобетоны с углеродными кластерами // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. Сборник статей. Самарский государственный технический университет. Самара: СГТУ, 2017. С. 90-93.
5. Рябчевский И.С., Аноприенко Д.С. Нанобетоны в строительстве // Нанотехнологии в строительстве. Белгород: БГТУ, 2020. Т 2. С. 243-246.
6. Yakovlev G., Kerien Ja., Plechanova T., Krutikov V. Nanobewehrung von Schaumbeton // Beton- und Stahlbetonbau, vol. 102, Is. 2, pp. 120-124. 2007.
7. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Крутиков В.А., Макарова И.С., Мачюлайтис Р., Фишер Х.-Б., Бурьянов А.Ф. Газобетон на основе фторангидрита, модифицированный углеродными наноструктурами // Строительные материалы. 2008. № 3. С. 70-72.
8. Яковлев Г.И., Первушин Г.Н., Бурьянов А.Ф., Кодолов В.И., Крутиков В.А., Фишер Х.-Б., Керене Я. Модификация поризованных цементных матриц углеродными нанотрубками // Строительные материалы, 2009. № 3. С. 99-102.

9. Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Shah S.P. Highly Dispersed Carbon Nanotube Reinforced Cement Based Materials // Cement and Concrete Research, 2010. vol. 40. pp. 1052-1059.

10. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Mechanical behavior and microstructure of cement composites incorporating surface-treated multi-walled carbon nanotubes // Carbon, 2005. vol. 43. pp. 1239-1245.

11. Макарова Н.В., Чернова Т.И., Кушова Д.А., Дымченко Д.С. Результаты экспериментальных исследований нанобетона // Вологдинские чтения. Владивосток: ДФУ, 2008. С. 43-44.

12. Бадертинов И.Р., Хузин А.Ф., Габидулин М.Г., Рахимов Р.З. Исследование влияния добавок КДУ-1 модифицированной углеродными нанотрубками на физико-механические характеристики фибробетона // Известия Казанского Государственного Архитектурно Строительного Университета. Казань: КГАСУ, 2013. С. 182-191.

References

1. Kudryavcev P.G., Figovskij O.L. Inzhenernyj vestnik Dona. 2014. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2476

2. Hawreen A., Bogas J., Kurda R. Arabian Journal for Science and Engineering, 2019. vol. 44. pp. 8361-8376.

3. Matus E.P. Sovremennoe stroitel'stvo i arhitektura. 2018. №1. pp. 5-9.

4. Sheina T.V., Maslov M.Yu. Nanobetonny s uglerodnymi klasterami. Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'nye tekhnologii. Sbornik statej. Samarskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. Samara: SGTU, 2017. pp. 90-93.

5. Ryabchevskij I.S., Anoprienko D.S. Nanobetonny v stroitel'stve. Nanotekhnologii v stroitel'stve. Belgorod: BGTU, 2020. T 2. pp. 243-246.

6. Yakovlev G., Kerien Ja., Plechanova T., Krutikov V. Beton- und Stahlbetonbau, vol. 102, Is. 2, pp. 120-124. 2007.



7. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Krutikov V.A., Makarova I.S., Machyulajtis R., Fisher H.-B., Bur'yanov A.F. Stroitel'nye materialy. 2008. № 3. pp. 70-72.
8. Yakovlev G.I., Pervushin G.N., Bur'yanov A.F., Kodolov V.I., Krutikov V.A., Fisher H.-B., Kerene Ya. Stroitel'nye materialy, 2009. № 3. pp. 99-102.
9. Konsta-Gdoutos M.S., Metaxa Z.S., Shah S.P. Cement and Concrete Research, 2010. vol. 40. pp. 1052-1059.
10. Li G.Y., Wang P.M., Zhao X. Carbon, 2005. vol. 43. pp. 1239-1245.
11. Makarova N.V., Chernova T.I., Kushova D.A., Dymchenko D.S. Vologdinskie chteniya. Vladivostok: DFU, 2008. pp. 43-44.
12. Badertinov I.R., Huzin A.F., Gabidulin M.G., Rahimov R.Z. Izvestiya Kazanskogo Gosudarstvennogo Arhitekturno Stroitel'nogo Universiteta. Kazan': KGASU, 2013. pp. 182-191.