

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента ведущего научного сотрудника Республиканского унитарного предприятия «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С. С.», к.т.н., доцента Тереховой Ирины Анатольевны на диссертационную работу Полониной Елены Николаевны «Конструкционный бетон, модифицированный комплексной добавкой, содержащей гидротермальный нанокремнезем и углеродные нанотрубки», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 - строительные материалы и изделия в совет Д 02.05.05 по защите диссертаций при Белорусском национальном техническом университете

### **1. Соответствие диссертации специальности и отрасли науки.**

В диссертации Е. Н. Полониной решаются задачи научных и практических основ технологий получения наномодифицированных бетонов на основе комбинаций наночастиц с переходом в область малых доз, что соответствует отрасли технических наук, а также паспорту специальности 05.23.05 - строительные материалы и изделия в части п. III. 1 и III. 2.

Диссертация включает введение, общую характеристику работы, пять глав, заключение, библиографический список и приложения. Полный объем диссертации составляет 191 стр., который включает 84 рисунка и 43 таблицы; приложения на 229 стр. Список использованной литературы включает 307 наименований зарубежных, российских и отечественных авторов, из которых 56 – авторские работы.

**2. Актуальность темы диссертации** выражается в том, что при наличии определенного объема ранее выполненных исследований задача направленного и контролируемого регулирования структуры С-S-H-геля в полной мере не решена. Указанную задачу автор решает путем применения новой добавки, состоящей из комбинации наночастиц многослойных углеродных нанотрубок и наночастиц гидротермального золя  $\text{SiO}_2$  (МУНТ +  $\text{SiO}_2$ ). Целенаправленным варьированием доз, размеров, физико-химических характеристик поверхности компонентов наночастиц, автор воздействует на структуру С-S-H-геля и обеспечивает тем самым улучшение физико-технических показателей бетонов.

### **3. Степень новизны результатов диссертации и научных положений, выносимых на защиту.**

Научная новизна диссертационной работы представлена следующими основными результатами:

– автором обоснована гипотеза о механизме влияния малых доз наночастиц МУНТ и  $\text{SiO}_2$  на структуру С-S-H-геля за счет изменения скорости и степени поликонденсации кремнекислородных тетраэдров – продуктов гидратации алита с коррелирующим повышением доли

вх. № 08-64/329  
от 24.11.2022

низкоосновных гидросиликатов кальция C-S-H(I) и тоберморитподобных структур с пониженными значениями отношения Ca/Si в составе фаз C-S-H-геля, что повышает упорядоченность структуры наночастиц C-S-H-геля, объемную плотность упаковки в фазах C-S-H-геля, что пропорционально увеличивает приведенный модуль упругости, твердости, механические характеристики портландцементного камня и бетона;

– установлен взаимоусиливающий эффект действия комбинации наночастиц (МУНТ + SiO<sub>2</sub>) на структуру C-S-H-геля; трещиностойкость бетона по значениям коэффициентов K<sub>IC</sub> при нормальном отрыве и K<sub>IC</sub> при поперечном сдвиге была выше для варианта ввода комбинации наночастиц SiO<sub>2</sub> и МУНТ по сравнению с вариантом ввода наночастиц МУНТ отдельно;

– экспериментально обоснованы рациональные сочетания компонентов комплексной добавки в бетон, включающей комбинацию наночастиц МУНТ и SiO<sub>2</sub> в диапазоне 0,00003 %–0,0009 % и 0,000001 %–0,000008 % от массы цемента, соответственно, и поликарбоксилатный суперпластификатор в количестве 0,32 % – 0,5 % от массы цемента, подтвержденные повышением механических и физических характеристик бетона;

– комплексными экспериментальными исследованиями выявлены зависимости роста прочности цементного камня и конструкционного тяжелого бетона от входящих в состав компонентов комплексной добавки как совместно, так и по отдельности, подтверждено преимущество применения всего комплекса в целом, обеспечившего рост прочности цементного камня в начальные 24 ч нормально-влажностного твердения до 13% и к проектному (28 суток) возрасту до 11,6 %, а цементного бетона более 90 % и 77 % соответственно, в сравнении с бетоном без добавок и до 57 % по сравнению с бетоном, содержащим равное количество применяемого в добавке пластификатора;

– эффективность новой комплексной добавки подтверждена экспериментально при производственной апробации на Белорусской атомной электростанции (БелАЭС). Применение новой добавки привело к улучшению показателей бетона: в возрасте 28 суток прочность бетона при сжатии увеличилась до 40%; марка бетона по водонепроницаемости повысилась с W8 до W20, по сравнению с добавками, используемыми на БелАЭС, марка по морозостойкости достигнута до F500;

– установлена возможность снижения расхода наночастиц, в десятки раз меньших по сравнению с аналогами (порядка 10<sup>-6</sup> % – 10<sup>-4</sup> % от массы цемента) и подтверждена возможность сокращения себестоимости наномодифицирования бетона.

**4. Обоснованность и достоверность выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации обеспечены тем, что в диссертации автор системно использовала стандартизированные и общепризнанные**

методики научных исследований; при проведении экспериментов применяла современные приборы и методы; использовала метод факторного эксперимента с последующей обработкой результатов, а также выполнила большой объем экспериментальных исследований с подтверждением полученных результатов данными производственной апробации результатов исследований. Представленные в диссертации экспериментальные результаты являются статистически значимыми и обоснованными.

#### **5. Научная, практическая, экономическая и социальная значимость результатов диссертации.**

*Научная значимость* исследований заключается в развитии научных представлений о направленном воздействии наночастиц, входящих в состав комплексной добавки, на структуру С-S-H-геля, развития возможности использования метода наноиндентирования для исследования структуры С-S-H-геля цементных материалов.

*Практическая значимость* результатов диссертационного исследования заключается в разработке состава, технологии получения и применения новой комплексной добавки в бетон, обеспечивающей повышение его прочности.

*Экономическая значимость* результатов исследований состоит в снижении себестоимости технологии наномодифицирования бетонов относительно эффекта повышения эксплуатационных характеристик. Производственная апробация разработанной комплексной добавки подтвердила ее экономический эффект в снижении стоимости бетонной смеси от 13 до 34 руб/м<sup>3</sup>, что составляет от 9 до 20 % стоимости компонентов смесей, принятых в качестве аналогов.

#### **6. Опубликованность результатов диссертации в научной печати.**

Основные положения и результаты диссертационной работы в достаточной мере опубликованы в открытой печати. Всего по теме диссертации опубликовано 56 публикаций, в том числе 23 статьи в рецензируемых журналах, 8 из которых включены в ВАК РБ в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, 26 статей и материалов докладов научно-технических конференций, 1 монография; получено 3 патента; разработан 1 межгосударственный стандарт, 2 производственно-практических издания.

#### **7. Соответствие оформления диссертации требованиям ВАК.**

Оформление диссертации соответствует требованиям ВАК.

## **8. Замечания по диссертации.**

При подготовке отзыва по диссертации появились следующие замечания.

8.1. Стр. 30, п. 2.2 «Исследуемые образцы. Методы испытаний». Из текста перед таблицей 2.2 не ясно, по какому принципу были сформированы составы цементных материалов, почему часть из них опущена. Для связи с экспериментами следовало привести схему плана экспериментов или в таблице 2.2 привести ссылки на виды испытаний.

8.2. Стр. 41, описание эксперимента по наноиндентированию. Финишная обработка поверхности образца может оказывать значительное влияние на результаты измерений твердости и модуля упругости (ГОСТ Р 8.748— 2011). Описание метода следовало дополнить требованием к высоте шероховатости поверхности и обосновать глубину погружения наноиндентора.

8.3 При описании результатов сравнения прочности на сжатие, показанных на рис. 5.8 -5.12, стр.141-143, отсутствует пояснение, почему для бетона серии 4, в отличие от остальных, повышение прочности относительно состава-аналога минимальное.

8.4 Стр. 149, второй абзац, при ссылке на табл. 5.12, речь идет о прочности, трещиностойкости и долговечности, наименование раздела 5.2, стр. 138 также содержит термин «долговечность конструкционного бетона». Однако, в тексте раздела и в таблице 5.12, этот показатель или его интерпретация отсутствует.

Необходимо уточнить, что приведенные замечания не изменяют сути, научной значимости результатов исследований, достоверности выводов и рекомендаций рассматриваемой диссертации.

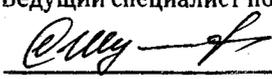
## **9. Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует.**

Выполненная оценка степени новизны результатов кандидатской диссертации, проведенный анализ обоснованности и достоверности ее положений, научной и практической значимости выводов дают основания считать, что представленная к защите диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий», а ее автор Полонина Елена Николаевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия» за новые научно обоснованные результаты, полученные при исследовании комплексной добавки в бетон с комбинацией наночастиц (МУНТ + SiO<sub>2</sub>) в диапазоне малых доз.

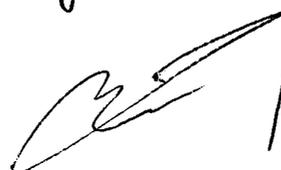
Я, Терехова Ирина Анатольевна, даю согласие на размещение данного отзыва в открытом доступе на официальном сайте Белорусского национального технического университета.

Официальный оппонент:  
ведущий научный сотрудник  
РУП «Институт жилища –  
НИПТИС им. Атаева С. С.»,  
к. т. н, доцент

  
«24» 11 2022 г. Терехова И. А.

Подпись И. А. Тереховой  
удостоверяю  
Ведущий специалист по кадрам  
 С.Л. Шункова

Отзыв рассмотрен в собесе 24.11.2022

 | Ковцар С.М.

С отзывом ознакомлена 25.11.2022 г.  
 | Е.Н. Полонина