ОТЗЫВ

на автореферат и диссертацию Бритвиной Екатерины Алексеевны на тему: «Проектирование составов мелкозернистых бетонов для строительных аддитивных технологий», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

Актуальность избранной темы. Строительная 3D-печать реализует цифровые и роботизированные процессы изготовления изделий и конструкций и соответствует приоритету 20а Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Классические методики проектирования составов тяжелых и мелкозернистых бетонов задают удобоукладываемость и прочность и не определяют экструдируемость и формоустойчивость смеси при безопалубочной послойной укладке. Общепринятой методики, связывающей характеристики сырья, состав и технологические свойства смеси для строительной 3D-печати, нет. Диссертация направлена на разработку такого метода для мелкозернистых цементных бетонов. Тема актуальна.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет». Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Г. С. Славчева. Объект исследования – мелкозернистые цементные бетоны для строительной 3D-печати. Предмет исследования – закономерности связи состава, структуры и реологических свойств готовых к употреблению смесей.

Научные положения опираются на двухуровневую модель структуры. На мезоуровне смесь рассматривается как система «цементная матрица – зерна заполнителя», на микроуровне матрица – как дисперсная система «частицы вяжущего и наполнителя – водно-ионная среда». Реологическое поведение оценивали методами сдавливающей реометрии. Пластичность определяли при постоянной скорости деформирования 5 мм/с по оценке предела пластичности Ki(I). Формоустойчивость определяли при постоянной скорости нагружения 0,5 Н/с по структурной прочности σ_0, пластической прочности $\sigma_{пл}$ и относительным пластическим деформациям слоя. Факторное пространство включает вид и концентрацию заполнителя, вид цемента и модифицирующие добавки.

Экспериментально показано, что смеси на полифракционном заполнителе при массовом отношении заполнителя к цементу 1,1-1,4 сохраняют вязкопластическое течение без разрушения структуры. Смеси на монофракционном заполнителе ведут себя как жесткие и не формируют бездефектный экструзионный слой. Для подобия моделей реологического поведения мелкозернистой смеси и цементной матрицы установлен структурный параметр – отношение толщины прослойки цементной матрицы к среднему диаметру частиц заполнителя $\delta_{цм}/d_{ср}$ в диапазоне 0,15-0,21. На этой связи построены методика и алгоритм проектирования: определение характеристик заполнителя, подбор состава матрицы, расчет среднего диаметра частиц и плотности упаковки, назначение толщины прослойки, расчет массовых соотношений, экспериментальная проверка технологичности смеси и прочности бетона.

Адекватность методики проверена проектированием четырех составов декоративного бетона с имитацией текстуры природного камня. Смеси имеют технологическую пластическую прочность по пенетрометру и пластометру $P_{пл}$ = 1,2-2,4 кПа и сохраняют работоспособность 30-40 мин. Печать на промышленном принтере KEYCODE модели «КРАФТЕР-У» обеспечила бездефектные слои постоянного сечения и формоустойчивость при непрерывной укладке не менее 20 слоев. Бетоны в возрасте 28 суток имеют прочность при сжатии 54-68 МПа, эксплуатационное водопоглощение менее 1 %, морозостойкость 200 циклов, влажностную усадку 1,3-1,7 мм/м. Технологический регламент производства сухих смесей внедрен на ООО «СТРОЙСАНТЕХМОНТАЖ» (г. Воронеж), рекомендации по изготовлению изделий методом 3D-печати – на ООО «БетоникАРТ» (г. Белгород). Результаты используются в учебном процессе ВГТУ. По оценке автора срок окупаемости производства малых архитектурных форм составляет 3,5-5 месяцев. Выводы и рекомендации следуют из экспериментов, расчетов структурных параметров и производственной апробации.

Достоверность. Реологические и физико-механические испытания выполнены на аттестованном оборудовании Центра коллективного пользования имени профессора Ю. М.

Борисова ВГТУ. Прочность и показатели стойкости определяли стандартными методами для бетонов, структуру – рентгенофазовым анализом и сканирующей электронной микроскопией. Протоколы независимых испытаний приведены в приложении к диссертации. Полученные данные согласуются с положениями структурной реологии дисперсных систем и с опубликованными результатами по смесям для строительной 3D-печати. Основные положения доложены на конференциях 2019-2026 гг. По теме опубликовано 9 работ, из них 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, и 1 статья в издании, индексируемом в Scopus и Web of Science. Получен патент РФ № 2767805. Личный вклад соискателя в совместных работах составляет не менее 75 %. Исследования поддержаны государственным заданием Минобрнауки России, программой «СТАРТ-1» Фонда содействия инновациям и планом фундаментальных исследований РААСН и Минстроя России.

Новизна. К новым научным результатам относятся количественная связь реологических и технологических характеристик мелкозернистой смеси с реологическим поведением цементной матрицы и граничные значения, обеспечивающие экструдируемость и формоустойчивость: оценка предела пластичности Ki(I) = 1,0-2,5 кПа, структурная прочность σ_0 = 1-3 кПа, относительные пластические деформации слоя не более 0,1 мм/мм. Предложен критериальный параметр структуры $\delta_{цм}/d_{ср}$ = 0,15-0,21. Установлены ограничения по заполнителю: концентрация 110-140 % от массы цемента, полифракционный состав не менее чем из трех стандартных фракций при доле каждой фракции не более 75 %. На экспериментально-статистических зависимостях «характеристики сырья – состав – структура – свойства» разработана методика проектирования мелкозернистых бетонов для строительной 3D-печати. Новизна прикладных решений подтверждена декоративными составами и патентом.

Автореферат соответствует диссертации по цели, задачам, основным числовым результатам, выводам и рекомендациям. Содержание диссертационной работы отвечает пунктам 1 и 15 паспорта научной специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

По работе следует сделать несколько замечаний.

1. Термин «пластическая прочность» в диссертации обозначает разные величины. Сдавливающий тест дает $\sigma_{пл}$ от 35 до 46 кПа (стр. 118 диссертации), а в таблице 3.4 модельных составов – 30,8-45,9 кПа. Пенетрометр и конический пластометр дают $P_{пл}$ от 1,0 до 2,5 кПа. Оценка предела пластичности Ki(I) лежит в соседнем числовом окне 1,0-2,5 кПа. Итоговое заключение сводит технологическую пластическую прочность к интервалу 1,0-2,5 кПа и не упоминает данные по σпл. В таблице 5 автореферата эти величины разведены ($\sigma_{пл}$ не менее 30 кПа и $P_{пл}$ = 1,0-2,5 кПа), а в формулировке научной новизны и в заключении они снова совмещены. В тексте следует разделить показатели, указать прибор и сохранить в заключении оба интервала.

2. Заключение главы 1 (стр. 50 диссертации; соответствующий фрагмент автореферата) называет главным критериальным параметром толщину прослойки цементной матрицы. Итоговое заключение называет главным критериальным параметром отношение толщины прослойки к среднему диаметру частиц. Раздел 3.1.2 (стр. 87) прямо указывает, что абсолютная величина прослойки не отражает изменение среднего размера частиц. Два заключения фиксируют разные критерии. Формулировку выводов главы 1 следовало бы привести к параметру $\delta_{цм}/d_{ср}$, который далее используется в методике.

3. Числовые интервалы, которые заключение переносит на методику проектирования мелкозернистых бетонов для строительной 3D-печати в целом, получены на модельных смесях с кварцевым песком, на двух видах цемента и на четырех декоративных составах с камедью ксантана, жидким стеклом и белым цементом, напечатанных на одном принтере. Итоговое заключение широко формулирует методику для мелкозернистых бетонов строительной 3D-печати без ограничения сырьевой базы и модели принтера. Перенос интервалов на иной вид вяжущего, иную гранулометрию и иной экструдер данными работы не обеспечен. Область применения численных границ следовало бы явно ограничить изученными материалами и условиями печати.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы.

Анализ автореферата и полного текста диссертации показывает, что работа Бритвиной Екатерины Алексеевны является самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой на актуальную тему. Сформулированные в ней научные положения, выводы и рекомендации обоснованы, достоверны и обладают новизной.

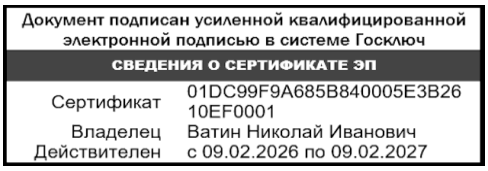
Диссертация на тему «Проектирование составов мелкозернистых бетонов для строительных аддитивных технологий» отвечает критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук. Автор, Бритвина Екатерина Алексеевна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Даю согласие на обработку моих персональных данных в связи с предоставлением данного отзыва.

16.11.2026

Д.т.н., проф., директор Научно-технологического комплекса «Цифровой инжиниринг в гражданском строительстве», профессор Передовой инженерной школы «Цифровой инжиниринг»,
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
195251 Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29АФ
vatin@mail.ru
https://www.researchgate.net/profile/Nikolai_Vatin
Scopus ID 6508103761

Ватин Николай Иванович


Документ подписан усиленной квалифицированной электронной подписью в системе Госключ
СВЕДЕНИЯ О СЕРТИФИКАТЕ ЭП
Сертификат 01DC99F9A685B840005E3B2610EF0001
Владелец Ватин Николай Иванович
Действителен с 09.02.2026 по 09.02.2027

Документ подписан усиленной квалифицированной электронной подписью, что эквивалентно собственноручной подписи. Основание: Федеральный закон РФ «Об электронной подписи» от 06.04.2011 № 63-ФЗ (в действующей редакции).
Документ существует в виде двух взаимосвязанных файлов: текст (с расширением PDF) и файл с отсоединенной цифровой подписью (с расширением SIG). Хранить и пересылать нужно оба этих файла, переименовывать их нельзя. Для проверки усиленной квалифицированной электронной подписи (УКЭП) необходимо перейти (без ввода какого-либо логина и пароля) на страницу Госуслуг РФ «Проверка электронной подписи электронного документа» https://www.gosuslugi.ru/eds.
Затем следует загрузить туда оба файла: с расширением PDF и файл с расширением SIG. На экране будет отображен результат проверки.

Подпись ДЕЙСТВИТЕЛЬНА

Подписи:

1. **Статус подписи:**

   Электронная подпись верна

   Статус сертификата подписи:

   ДЕЙСТВИТЕЛЕН, сертификат выдан аккредитованным удостоверяющим центром для физического лица

   Владелец сертификата: CN=Ватин Николай Иванович, ИНН=780201681134, СНИЛС=00878890197, SURNAME=Ватин, GIVENNAME=Николай Иванович, C=RU

   Издатель сертификата: CN=АО \"ИИТ\", ИННЮЛ=7743020560, ОГРН=1027739113049, O=АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО \"ИНФОТЕКС ИНТЕРНЕТ ТРАСТ\", L=Москва, ST=77 г. Москва, C=RU, STREET=ул. Мишина\, д. 56\, стр. 2\, эт. 2\, пом. IX\, ком. 11, E=77@iitrust.ru

   Серийный номер: 01DC99F9A685B840005E3B2610EF0001

   Отпечаток: D3A2EFE1DAB27FF9F1E56698B34E89736E9E74B9

   Действителен: с 2026.02.09 по 2027.02.09

   Ключ ЭП действителен: с 2026.02.09 по 2027.02.09

   Загрузить сертификат можно из вложения «1.cer / Сертификат для подписи № 1»

   Электронная подпись содержит штамп времени: 2026.11.16 22:41:44

   Статус штампа времени: Штамп времени верен

   Статус сертификата электронной подписи штампа времени: ДЕЙСТВИТЕЛЕН, сертификат выдан аккредитованным удостоверяющим центром для юридического лица

   Владелец сертификата: ОГРН=1027739113049, ИННЮЛ=7743020560, E=77@iitrust.ru, STREET=ул. Мишина\, д. 56\, стр. 2\, эт. 2\, пом. IX\, ком. 11, CN=АО \"ИИТ\", O=АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО \"ИНФОТЕКС ИНТЕРНЕТ ТРАСТ\", L=Москва, ST=77 г. Москва, C=RU

   Издатель сертификата: CN=Минцифры России, ИННЮЛ=7710474375, ОГРН=1047702026701, O=Минцифры России, STREET=Пресненская набережная\, дом 10\, строение 2, L=г. Москва, ST=77 Москва, C=RU, E=dit@digital.gov.ru

   Серийный номер: 32A0854E000000000B6A

   Отпечаток: 580AFA81CF62623D1CCF3C8EE0E37A173DD2F29F

   Действителен: с 2025.08.19 по 2039.08.19

   Ключ ЭП действителен: с 2025.08.18 по 2030.08.18

   Загрузить сертификат можно из вложения «timestamp1.cer / Сертификат для штампа времени из подписи № 1»

Дата проверки: 2026.11.18 09:19:57

Значение хэш-функции (ГОСТ Р 34.11-2012 256-бит) входных данных:
51198E94DABB2663C57EC7358CB6A3192DC7644158E4637846143D921BEA990E