

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.286.05, СОЗДАННОГО
НА БАЗЕ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Воронежский государственный технический университет»,

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ

КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 20.12.2024 № 35

О присуждении Бабенко Дмитрию Сергеевичу, гражданину Российской Федерации, учёной степени кандидата технических наук.

Диссертация «Разработка критериев и методов оценки технологических характеристик смесей для 3D-печати» по специальности 2.1.5. Строительные материалы принята к защите «16» октября 2024 года (протокол заседания № 33) диссертационным советом 24.2.286.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 394006, г. Воронеж ул. 20-летия Октября, 84, приказ о создании диссертационного совета 257/нк от 28.02.2020 г.

Соискатель Бабенко Дмитрий Сергеевич, 04 декабря 1993 года рождения, в 2018 году окончил федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет» с присвоением квалификации магистр по направлению подготовки 27.04.01 «Стандартизация и метрология». Работает в должности инженера высшей школы строительного материаловедения в Академии развития строительного комплекса.

Диссертация выполнена в «Академии развития строительного комплекса» «Воронежский государственный технический университет», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Славчева Галина Станиславовна, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет», профессор кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций.

Официальные оппоненты:

1. Тараканов Олег Вячеславович, доктор технических наук, профессор, советник РААСН, декан факультета «Управления территориями» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства».

2. Петропавловская Виктория Борисовна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет»

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация — федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет» (г. Томск) в своем положительном отзыве, подписанном Кудяковым Александром Ивановичем, доктором технических наук, профессором, профессором кафедры «Строительные материалы и изделия», почетным строителем РФ и утверждённом Власовым Виктором Алексеевичем, доктором физико-математических наук, профессором, ректором

указала, что диссертационная работа Бабенко Дмитрия Сергеевича «Разработка критериев и методов оценки технологических характеристик смесей для 3D-печати» является завершённой научно-квалификационной работой и соответствует паспорту научной специальности 2.1.5. Строительные материалы п. 8. Разработка, исследования и совершенствование методов создания строительных материалов посредством автоматизированных и роботизированных, аддитивных технологий; п.17. Развитие системы контроля и оценки качества строительных материалов и изделий.

Диссертация выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной, теоретической и практической ценностью, а научные положения, выводы и рекомендации имеют существенное значение для развития строительной отрасли. Диссертация полностью соответствует требованиям, установленным Положением о присуждении учёных степеней (постановление Правительства РФ от 24.09.2013 № 842) для диссертаций, представленных на соискание учёной степени кандидата наук, а её автор Бабенко Дмитрий Сергеевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы.

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах. Научные работы соискателя полно излагают материалы диссертационного исследования, в которых разработаны критерии и методы оценки технологических характеристик смесей для 3D-печати.

Соискатель имеет 15 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 10 работ, из них в рецензируемых научных изданиях ВАК опубликовано 3 работы, 2 работы в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования Scopus.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Бабенко, Д.С. Анализ и критериальная оценка реологического поведения смесей для строительной 3D-печати / Г. С. Славчева, М. А. Шведова, Д. С. Бабенко // Строительные материалы. – 2018. – № 12. – С. 34-40. – DOI 10.31659/0585-430X-2018-766-12-34-40. – EDN YROONV

2. Бабенко, Д.С. Регулирование вязкопластических свойств цементных смесей для строительной 3D-печати / Г. С. Славчева, О. В. Артамонова, Д. С. Бабенко, М. А. Шведова // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. – 2022. – № 3(52). – С. 64-80. – DOI 10.24866/2227-6858/2022-3/64-80. – EDN YAMUOZ.

3. Бабенко, Д.С. Особенности структурообразования, схватывания и твердения микрозернистых цементных смесей для строительной 3D-печати / Г.С. Славчева, О.В. Артамонова, М.А. Шведова, Д.С. Бабенко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2022. – № 6(762). – С. 30-45.

4. Бабенко, Д.С. Effect of Limestone Filler Dosage and Granulometry on the 3D printable Mixture Rheology / G. S. Slavcheva, O. V. Artamonova, D. S. Babenko, A. I. Ibryaeva // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Conference Safety Problems of Civil Engineering Critical Infrastructures, Ekaterinburg, 21–22.05.2019 / Ural Federal University. Vol. 972. – Ekaterinburg: IOP, 2020. – P. 012042. – DOI 10.1088/1757-899X/972/1/012042. – EDN XNSSXN.

5. Бабенко, Д.С. Исследование влияния модифицирующих добавок на структурообразование и твердение цементных композитов для 3d-печати / Г.С. Славчева, О.В. Артамонова, Д.С. Бабенко // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2023. – Т. 25. – № 1. – С. 112 – 124.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы, в которых отмечается актуальность исследования, достоверность полученных результатов, обоснованность и новизна выдвигаемых положений и выводов, их значение для науки и практики. Все отзывы положительные. В них содержатся следующие замечания:

1. **Пухаренко Юрий Владимирович**, профессор-консультант кафедры «Технологии строительных материалов и метрологии» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», член-корреспондент РААСН, профессор, доктор технических наук: “Непонятно с какой целью в составе некоторых исследуемых систем (таблица 1) указана фибра, если в дальнейшем каких-либо сведений о ее влиянии на реологические и технологические характеристики смесей в тексте автореферата не приводится.”

2. **Мухаметрахимов Рустем Ханифович**, доцент кафедры «Технологии строительного производства», ФГБОУ ВО «Казанский государственный архитектурно-строительный университет», кандидат технических наук: “Исходя из текста автореферата не ясно, какими показателями оценивалось качество натуральных и модельных 3D-печатных объектов при выполнении исследований, направленных на уточнение требований к значениям технологических характеристик смесей (глава 2)?”

3. **Гурьева Виктория Александровна**, зав. кафедры «Технологии строительного производства» ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», советник РААСН, доцент, доктор технических наук: “1) Во 2-ой главе отсутствует описание исходных сырьевых материалов, непонятно что за цемент применялся в эксперименте - его марка по прочности, состав, свойства; что представляет собой материал фибры, ее размеры. аналогично и по другим исходным материалам; 2) На 13 стр. приводится сопоставление реологического поведения при сдвиге и сдавливании модельных систем 3-х составов, вязкость которых условно характеризуется терминами ...низкая, высокая, достаточно высокая. Вместе с тем, на рис. 5 приведены цифровые значения динамической вязкости модельных систем, которые и следовало бы указать, ссылаясь на полученные реологические кривые

течения для каждой из модельных систем или указать интервалы значений динамической вязкости, характеризующие, по мнению автора, вязкость как низкую, высокую, достаточно высокую; 3) На стр. 15 написано, что «Для оценки технологических характеристик смесей для 3D-печати произведена разработка... комплекса оперативно-технических методов. По факту далее приведены уточнения, которые автор на основании апробация результатов исследований и верификации предлагает ввести в стандартные методы; 4) Из автореферата не понятна роль фибры в смесях для 3D-печати, почему её нет в модельных составах и как она влияет на реологическое поведение при сдвиге и сдавливании систем?»

4. **Пичугин Анатолий Петрович**, главный научный сотрудник ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет» (Сибстрин), заслуженный работник Высшей школы РФ, профессор, доктор технических наук: “1) В соответствии с требованиями ВАК РФ цель диссертационной работы должна сочетать не только задачи, НО и указания на методы их достижения, т.е. каким путем будут реализованы данные задачи. 2) Представленный — второй тезис научной — новизны — следовало сопроводить числовыми значениями по структурной прочности, пластической прочности и относительной деформации для установления рациональности при внедрении результатов исследований; 3) К сожалению, автор не приводит результатов исследований по изменению физико-химических процессов в структуре смеси для 3D-печати в ходе изготовления строительных конструкций и частей зданий, что очень важно для материаловедческой работы.”

5. **Ярцев Виктор Петрович**, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», профессор, советник РААСН, доктор технических наук; **Мамонтов Александр Александрович**, доцент кафедры «Конструкции зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», кандидат технических наук: “1) Не лишним было бы привести текстовое или схематическое описание предложенного соискателем алгоритма контроля качества печатных смесей; 2) Не понятно, как соотносятся между собой указанные на рисунке 7в условные обозначения высоты (h) и ширины (d) цилиндрического образца с обозначениями, принятыми в формулах 3, 4 и пояснениях к ним.”

6. **Бурьянов Александр Федорович**, консультант кафедры «Строительное материаловедение» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», доцент, доктор технических наук: “1) Вероятно, в таблице 5 допущена опечатка, т.к. диаметр расплыва увеличился в конце печати в первой системе, а во второй и третьей системе уменьшился, по тексту нет никаких комментариев на этот счет.”

7. **Федюк Роман Сергеевич**, профессор военного учебного центра ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» (ДВФУ), советник РААСН, доцент, доктор технических наук: “1) На какой «приоритет 20а» ссылается автор при обосновании актуальности? 2) Весьма впечатляют 7 патентов по тематике исследования. На их фоне ноу-хау можно было не указывать. 3) С положениями

данной работы я частично уже знаком, начиная с 2022 года, когда авторы опубликовали статью в журнале нашего университета. Хочу отметить, что аспиранты Галины Станиславовны докладывали результаты своей работы на конференции во Владивостоке несколько лет назад! Небольшое замечание по отсутствию докладов на зарубежных конференциях, но это можно объяснить современными геополитическими реалиями.”

8. Полуэктова Валентина Анатольевна, профессор кафедры «Теоретическая и прикладная химия» ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», доцент, доктор технических наук: Замечаний и вопросов по тексту автореферата нет.

На замечания соискателем даны исчерпывающие ответы и пояснения.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается: их широкой известностью и компетентностью в рассматриваемой отрасли наук, наличием значительного количества публикаций в соответствующей сфере исследований и способностью определить научную и практическую ценность диссертации. Направления научно-исследовательской деятельности структурных подразделений ведущей организации (кафедры «Строительные материалы и изделия») соответствуют тематике диссертации. Согласия на оппонирование диссертации от оппонентов и ведущей организации имеются.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработан и апробирован научно-обоснованный комплекс критериев и методов оценки реологических и технологических свойств строительных смесей для 3D-печати на основе исследования их реологического поведения и свойств;

исследованы реологические свойства смесей для строительной 3D-печати в условиях, моделирующих технологические процессы экструзии и безопалубочной послойной укладки;

установлены критерии и диапазон значений реологических показателей пластичности и формоустойчивости на основе исследования пластического поведения, рассматриваемых как оценочные характеристики пределов текучести в условиях действия нормальных напряжений (при сдавливании) в технологических условиях 3D-печати;

обоснованы требования к технологическим значениям текучести, пластичности и формоустойчивости готовых к употреблению смесей для аддитивного строительного производства (3D-печати), оперативно-техническим методам и процедуре их контроля.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказана целесообразность применения в технологии строительной 3D-печати разработанных критериев и методов оценки технологических характеристик смесей, использование которых обеспечивает бездефектный процесс строительной 3D-печати.

определены и типизированы модели реологического поведения вязко-пластичных цементных смесей в условиях действия нормальных напряжений на основании изучения их пластического поведения смесей методом сдвливающей реометрии с постоянной скоростью деформирования. С точки зрения устойчивости структуры выделены системы трех типов (непластичные, пластичные и текучие). Для обеспечения способности к экструзии уточнен диапазон значений критерия пластичности $K_i(I) = 1,0-2,0$ кПа, при достижении которого в вязко-пластичной дисперсной системе происходит переход от устойчивого состояния к началу разрушения коагуляционных контактов в структуре и вязкопластическому течению.

изложен принцип и метод изучения реологического поведения и свойств вязко-пластичных систем при сдвливании с постоянной скоростью нагружения, основанный на моделировании их упруго-пластического поведения в условиях нарастания нагрузки при послойной укладке смеси в процессе 3D-печати;

изучено реологическое поведение цементных смесей методами сдвливающей и сдвиговой реометрии, предложены реологические критерии оценки формоустойчивости смесей, рассматриваемые как оценочные характеристики пределов текучести в условиях действия нормальных напряжений (при сдвливании) в технологических условиях 3D-печати – структурная прочность σ_0 (оценка статического предела текучести τ_{K1}); пластическая прочность $\sigma_{пл}$ (оценка бингамовского предела текучести τ_{K2}); относительная деформация слоя смеси до момента нарушения его сплошности $\Delta_{пл}$.

раскрыта корреляционная взаимосвязь между показателями реологических и технологических характеристик смесей (коэффициент корреляции 0,65-0,82); между всеми парами технологических характеристик смесей, оцененных по предложенным методикам (коэффициент корреляции – 0,7 – 0,8)

проведена верификация комплекса разработанных оперативно-технических методов контроля технологических характеристик готовых к употреблению смесей для 3D-печати реологическими методами.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

результаты диссертационных исследований **использованы** в практической деятельности малого инвестиционного предприятия ООО «ЗД-СТРОЙДИЗАЙН» при контроле качества опытной партии смеси для 3D-печати и ООО «Аркон Констракшн» при печати малых архитектурных форм на производственной площадке, а также **внедрены** в учебный процесс кафедры технологии строительных материалов, изделий и конструкций Воронежского государственного технического университета при подготовке курсов лекций и практических работ для бакалавров направления 08.04.01 «Строительство», программы «Экспертиза качества и маркетинг строительных материалов»;

разработан новый оперативно-технический метод контроля и критерий формоустойчивости готовых к употреблению смесей для 3D-печати;

определены требования к технологическим характеристикам готовых к употреблению смесей для 3D-печати и диапазону и значений (показателям текучести, пластичности и формоустойчивости), эффективность применения которых доказана в процессе производственных испытаний на промышленном оборудовании;

предложена процедура и алгоритм контроля качества смеси последовательно на всех стадиях 3D-печати. Внедрение данной процедуры в систему контроля качества процесса 3D-печати определит повышение ее эффективности за счет экономии временных ресурсов, снижения затрат на отделку поверхности, снижения потерь от брака.

представлены предложения к нормативным техническим документам ГОСТ Р «Строительные смеси и композиты для аддитивного производства. Классификация и общие технические требования» и ГОСТ Р «Строительные смеси и композиты для аддитивного производства. Методы испытаний» в части развития системы стандартизации материалов для аддитивного строительного производства и методов их испытаний. Разработаны предложения по классификации, требованиям к маркам, значениям и методам технического контроля технологических показателей текучести, пластичности и формоустойчивости смесей для 3D-печати, готовых к употреблению.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

применительно к проблематике исследования эффективно использован комплекс современных экспериментальных методов исследований реологических характеристик композиционных смесей для строительной 3D-печати, а также физико-механических характеристик готовых композитов. В частности, для определения пределов текучести и вязкости смесей использовались методы сдвиговой реометрии, реологических показателей пластичности и формоустойчивости - методы сдавливающей реометрии (тесты на сдавливание образцов), технологических характеристик готовых к употреблению смесей – встряхивающий, пенетрометрически тесты и разработанный тест оценки формоустойчивости при нагружении образца свежеприготовленной смеси;

для экспериментальных работ использовался комплекс современного аттестованного оборудования, общепринятые методы проведения эксперимента. Испытания реологических и физико-механических свойств, а также оценка качества напечатанных конструкций проводились на современном аттестованном оборудовании в Центре коллективного пользования (ЦКП) имени профессора Ю. М. Борисова ВГТУ. Полученные данные не отрицают общепризнанные факты и исследования других ученых. Серия экспериментальных исследований успешно проверена на практике в производственных условиях;

теория построена на общепринятых положениях структурной реологии дисперсных систем;

идея базируется на том, что оценка реологического поведения смесей как вязко-пластичных дисперсных систем методами, моделирующим их пластическое поведение в технологических процессах 3D-печати, позволит обосновать количественные критерии пластичности и формоустойчивости;

использовано сравнение авторских данных и данных о вязко-пластическом поведении строительных смесей, методах их оценки, полученных ранее;

установлено частичное совпадение экспериментальных результатов, полученных соискателем, с данными, представленными другими авторами в независимых литературных источниках;

использованы стандартные методики получения и обработки экспериментальных результатов, полученных в достаточном количестве, с помощью современного научного оборудования.

Личный вклад состоит в реализации поставленных руководителем цели и задач исследования, выполнении аналитического обзора литературных источников, планировании и непосредственном выполнении экспериментальных исследований, а также обработке, анализе и обобщении полученных экспериментальных результатов.

В ходе защиты диссертации были высказаны предложения и пожелания для проведения дальнейшей научной работы, принципиальные критические замечания не высказывались.

Соискатель Бабенко Д. С. **согласился с предложениями** и отметил, что учтет его в своих дальнейших исследованиях. В ходе заседания соискатель Бабенко Д.С. ответил на задаваемые ему вопросы и привел собственную аргументацию значимости проведенных исследований и полученных результатов.

На заседании 20 декабря 2024 года диссертационный совет принял решение: диссертационная работа Бабенко Дмитрия Сергеевича «Разработка критериев и методов оценки технологических характеристик смесей для 3D-печати» является завершённой научно-квалификационной работой и соответствует паспорту специальности 2.1.5. Строительные материалы в части п.п. 8, 17, за решение научной задачи по разработке критериев и методов оценки технологических характеристик смесей для 3D-печати, имеющей значение для строительных материалов, присудить Бабенко Д. С. учёную степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 5 докторов наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы, участвовавших в заседании, из 14 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 12, против нет, недействительных бюллетеней нет.

И.о. председателя
диссертационного совета

Козлов Владимир Анатольевич

Ученый секретарь
диссертационного совета

Макеев Алексей Иванович

20.12.2024 г.

