

ОТЗЫВ

на диссертацию Коринчука Михаила Александровича
«Разработка адаптивных технологий производства
строительных изделий из арболита методами цифровизации регулирования режимов
термовлажностной обработки»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия

Актуальность темы исследования

Арболит занимает устойчивую нишу на рынке энергоэффективных строительных материалов для малоэтажного строительства ввиду возможности использования вторичного сырья при его изготовлении, а также хорошего сочетания свойств: низких теплопроводности и плотности, высокой паропроницаемости и экологичности. Однако широкое применение материала сдерживается его ключевым недостатком – нестабильностью геометрических размеров и склонностью к трещинообразованию. Природа данного дефекта кроется в гетерогенной структуре композита: гигроскопичная древесная щепа и цементный камень по-разному реагируют на изменения влажности и температуры.

В современной производственной практике режимы термовлажностной обработки (ТВО) и сушки регламентируются статичными, эмпирическими графиками, которые не учитывают сопряженный характер нестационарных процессов тепломассопереноса, эндо- и экзотермические эффекты гидратации и испарения, а также структурную неоднородность композита. Это неизбежно приводит к формированию критических внутренних градиентов, скрытому трещинообразованию в переходной зоне «щепа – цементная матрица», повышенному энергопотреблению и браку.

Переход от эмпирического управления к научно обоснованным адаптивным технологиям на базе концепции «цифрового двойника» отвечает приоритетам Стратегии научно-технологического развития РФ в части ресурсосбережения, развития зеленых строительных технологий и импортозамещения.

Все вышеизложенное дает основание утверждать, что исследования, которым посвящена диссертационная работа Коринчука М.А., являются высокоактуальными и значимыми, а решение поставленных задач имеет важное научно-техническое значение для промышленности строительных материалов.

Общая характеристика работы

Диссертация объемом 221 страница состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 258 наименований и четырех приложений. Работа иллюстрирована 42 рисунками и 27 таблицами.

Во введении обоснована актуальность, сформулированы цель, задачи, научная гипотеза и новизна, положения, выносимые на защиту и др.

В первой главе проведен комплексный анализ научно-технической литературы в области технологии производства и теплофизики древесно-цементных композитов. Арболит рассмотрен как двухфазный органоминеральный капиллярно-пористый

композит. Показано, что существующие эмпирические режимы ТВО не учитывают сопряженный характер нестационарных процессов тепломассопереноса и экзотермические эффекты гидратации. Обоснована необходимость перехода к научно обоснованным адаптивным технологиям на основе математического моделирования и концепции «цифрового двойника».

Во второй главе описаны материалы и методики экспериментальных исследований. Обоснован выбор сырьевых компонентов и описана технология изготовления лабораторных образцов. Детально рассмотрены экспериментальные методики и аппаратное оформление для непрерывного мониторинга нестационарных полей температуры и влажности в теле блока. Сформирована математическая постановка задачи взаимосвязанного нестационарного тепломассопереноса с учетом физико-химических факторов структурообразования. Обосновано применение численно-аналитического метода микропроцессов для решения нелинейных краевых задач с переменными коэффициентами переноса.

В третьей главе приведены результаты натурных экспериментов по идентификации нестационарных параметров тепломассопереноса и кинетики структурообразования арболита при ТВО. На основе длительного мониторинга установлены пространственно-временные закономерности распределения температуры и влажности по толщине блока-сырца, выявлена существенная асимметрия профилей, обусловленная паронепроницаемостью стальной опалубки. Выполнена количественная идентификация коэффициентов переноса и получены их функциональные зависимости от текущего влагосодержания композита. Впервые для арболита рассчитаны мощности внутренних физико-химических источников и стоков: экзотермического тепловыделения при гидратации и поглощения влаги.

В четвертой главе выполнено цифровое моделирование сопряженных процессов тепломассопереноса и разработаны адаптивные режимы ТВО. Сформулированы и аналитически решены краевые задачи нестационарного тепло- и влагопереноса как для этапа твердения в металлической опалубке, так и для различных технологических схем сушки после распалубки. Проведена верификация разработанной цифровой модели по критерию согласия Пирсона. На основе полученных решений предложен циклический алгоритм адаптивного цифрового управления режимами ТВО на базе концепции «цифрового двойника». Приведены результаты производственной апробации разработанных режимов на предприятии «Арбоград», подтвердившие их высокую эффективность.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций

Цели и задачи, поставленные автором в диссертационной работе, сформулированы грамотно. Выводы по главам и заключение научно обоснованы, убедительны и отражают суть выполненных исследований. Автором проведен большой объем научных исследований. Результаты работы прошли апробацию на конференциях различного уровня. Сформулированные соискателем в диссертационной работе научные положения, выводы и рекомендации в достаточной степени подтверждаются результатами большого объема экспериментальных

исследований. На основании вышеизложенного степень обоснованности и аргументации научных положений, заключения и рекомендаций не вызывает сомнений.

Достоверность результатов и обоснованность выводов по работе обеспечена корректным использованием основных научных положений строительного материаловедения, методами исследований с использованием современных средств измерений и испытательного оборудования, применением физико-механических методов испытаний, статистической обработкой результатов и внедрением полученных результатов.

Научные положения и выводы диссертанта опираются на фундаментальные законы термодинамики и теории тепломассопереноса (А.В. Лыкова, С.В. Федосова). Достоверность результатов подтверждается использованием сертифицированного оборудования, строгим соответствием методик требованиям ГОСТ, репрезентативностью массивов натурных данных, а также высокой сходимостью расчетных и экспериментальных данных (оценка по критерию согласия Пирсона).

На основании вышесказанного можно считать, что основные положения, выводы и рекомендации диссертационного исследования Коринчука М.А. обладают научной новизной, высокой степенью обоснованности и достоверности.

Научная новизна

Соискатель лично или в соавторстве получил следующие научно обоснованные результаты.

Теоретико-экспериментальным анализом установлено, что на кинетику твердения и структурную целостность изделий из арболита при ТВО определяющее влияние оказывают нестационарные градиенты температуры и влагосодержания, инициирующие встречные потоки теплоты и влаги, а также суперпозиция тепловыделения и влагопоглощения вследствие гидратации портландцементных минералов.

На основе математического аппарата численно-аналитического метода микропроцессов сформулирована и решена полная нестационарная задача сопряжённого тепломассопереноса при ТВО арболита как двухфазного органоминерального капиллярно-пористого композита. В отличие от существующих моделей, в математической постановке одновременно учтены: экзотермическое тепловыделение при гидратации, нелинейная зависимость коэффициентов тепло- и массопроводности от текущих значений влажности, а также реальные асимметричные граничные условия технологических схем сушки.

Разработана и реализована оригинальная методика экспериментального исследования нестационарного температурно-влажностного поля при ТВО блока арболита-сырца в металлической опалубке. На основе длительных натурных измерений установлены пространственно-временные закономерности изменения полей температуры и влажности. Получены функциональные зависимости коэффициентов температуро- и массопроводности, теплопроводности, удельной теплоёмкости, плотностей потоков тепла и влаги, а также мощностей объёмного

тепловыделения и влагопоглощения при гидратации от текущей влажности образца.

Теоретически обоснована и количественно подтверждена взаимосвязь между кинетикой нестационарного тепломассопереноса, асимметрией профиля влажности и риском усадочного трещинообразования арболитовых изделий. На основе аналитического решения задачи нестационарной массопроводности доказано, что сушка на непроницаемом основании формирует максимум влажности в придонной зоне, увеличивая градиенты усадочных напряжений, тогда как применение частично проницаемых настилов обеспечивает снижение времени сушки на 25...30% при сохранении структурной однородности.

Предложен метод адаптивного цифрового управления режимами ТВО на основе концепции «цифрового двойника», отличающийся тем, что в реальном времени на основе предиктивной модели оцениваются внутренние градиенты температуры и влажности, и при их приближении к критическим порогам автоматически формируются корректирующие воздействия, предотвращающие скрытое трещинообразование в контактной зоне «древесная щепка – цементная матрица».

Теоретическая и практическая значимость результатов работы

Теоретическая значимость работы заключается в развитии научных представлений о физике сопряженных нестационарных процессов тепломассопереноса в двухфазных органо-минеральных капиллярно-пористых композитах. Впервые для арболита экспериментально идентифицированы и математически описаны функциональные зависимости феноменологических коэффициентов переноса, а также мощностей внутренних физико-химических источников тепла и влаги от текущей влажности и температуры композита. Адаптирован численно-аналитический метод микропроцессов для решения нелинейных краевых задач тепло- и влагопроводности с переменными коэффициентами и асимметричными граничными условиями, что позволяет сводить сложные нестационарные задачи к последовательности линейных подзадач с минимальной погрешностью накопления. Теоретически обоснована и количественно подтверждена взаимосвязь между кинетикой нестационарного тепломассопереноса, асимметрией профилей влажности и риском усадочного трещинообразования в переходной зоне композита.

Практическая значимость определяется возможностью перехода от эмпирического управления режимами ТВО к научно обоснованному адаптивному цифровому регулированию. Разработан и реализован алгоритм адаптивного цифрового управления режимами ТВО на основе концепции «цифрового двойника», позволяющий в реальном времени прогнозировать внутренние градиенты и предотвращать трещинообразование. Сформулированы технологические рекомендации по организации сушки изделий после распалубки: доказано, что применение частично проницаемых решетчатых настилов вместо сплошных непроницаемых поддонов обеспечивает снижение времени сушки на 25...30% при сохранении структурной однородности. Разработанный математический аппарат обладает универсальностью и может быть масштабирован для оптимизации режимов сушки и твердения других капиллярно-пористых строительных композитов на основе

органических заполнителей. Результаты работы успешно внедрены на предприятии «Арбоград» (ИП Сосновиков И.И., г. Иваново), где применение адаптивных режимов позволило полностью исключить видимый брак и повысить предел прочности при сжатии на 34% (с 1,3 до 1,75 МПа) за счет сохранения микроструктурной целостности композита. Результаты исследования также внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «ИВГПУ».

Замечания по содержанию и оформлению диссертационной работы

По работе имеются следующие замечания.

1. В диссертации феноменологические коэффициенты температуропроводности и массопроводности рассматриваются как скалярные величины, зависящие от текущей влажности. Однако технология формования арболита (вибропрессование или механическое трамбование) неизбежно приводит к преимущественной ориентации древесной щепы в горизонтальной плоскости, что формирует выраженную структурную анизотропию (вариатропность) композита. Не могли бы Вы пояснить, насколько существенным, по Вашему мнению, является влияние этой анизотропии на тензорный характер коэффициентов переноса, и как ее учет мог бы скорректировать прогнозные поля влаги и тепла в рамках разработанного «цифрового двойника»?

2. Разработанный алгоритм адаптивного управления (п. 4.6) опирается на удержание градиентов температуры и влажности ниже некоторых «критических порогов» для предотвращения трещинообразования. Однако фактическое разрушение контактной зоны «щепа – цементная матрица» наступает, когда возникающие усадочные и термические напряжения превышают локальный предел прочности на растяжение. Почему математическая модель была ограничена только задачами тепломассопереноса без сопряженного модуля механики, который позволил бы перейти от эмпирических пороговых значений градиентов к расчету реального запаса прочности по напряжениям?

3. Разработанный алгоритм адаптивного управления (цифровой двойник) оперирует шагом дискретизации 30 мин. Учитывая высокую инерционность тепломассопереноса в арболите и наличие экзотермического пика гидратации в первые часы, необходимо уточнить, как алгоритм компенсирует возможные запаздывания реакции датчиков влажности и температуры на поверхности блока по отношению к процессам в его ядре?

4. В работе указано, что применение частично проницаемых настилов и адаптивного режима снижает время сушки на 25...30%. Представляет интерес узнать, каков был конкретный экономический эффект (в пересчете на удельные энергозатраты в кВт·ч или рублях на 1 м³ продукции), достигнутый на предприятии «Арбоград» за счет внедрения разработанной системы цифрового регулирования?

5. В тесте диссертации имеются грамматические и стилистические ошибки.

Отмеченные замечания носят частный характер, не влияют на общую положительную оценку работы и легко устраняются в ходе дискуссии или при подготовке текста к изданию.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным
Положением о порядке присуждения ученых степеней**

Диссертационная работа Коринчука Михаила Александровича является самостоятельно выполненной актуальной научно-квалификационной работой. Она содержит научную новизну, практическую ценность и в ней на основе выполненных автором исследований изложены новые научно обоснованные технологические решения, обеспечивающие управление режимами термовлажностной обработки для обеспечения их структурной целостности и повышения прочностных характеристик строительных изделий из арболита. Указанные решения имеют существенное значение для развития строительного материаловедения. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с существующими требованиями. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

На основании вышеизложенного полагаю, что диссертационная работа «Разработка адаптивных технологий производства строительных изделий из арболита методами цифровизации регулирования режимов термовлажностной обработки» полностью отвечает требованиям п. 9 «Положения о присуждения ученых степеней» (Постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013) для диссертаций, представленных на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор, Коринчук Михаил Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5. Строительные материалы и изделия.

Официальный оппонент

Советник РААСН, доктор технических наук
(2.1.5. Строительные материалы и изделия),
доцент, заведующий кафедрой
«Строительство уникальных зданий и сооружений»
ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
344003, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1
+7 (904) 342-77-65
sergej.stelmax@mail.ru



Стельмах Сергей Анатольевич

01.09.2026 г.

Я, Стельмах Сергей Анатольевич, даю своё согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Подпись д.т.н., доц. С.А. Стельмаха удостоверяю.
Проректор по учебной работе и международной деятельности ДГТУ



Бескопыльный Алексей Николаевич