

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора
Гаряева Андрея Борисовича на диссертационную работу
Недоноскова Александра Борисовича на тему «Тепловая обработка
деформационных швов цементобетонных покрытий СВЧ нагревом»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника

Актуальность темы диссертационного исследования.

Технологии строительства цементобетонных покрытий аэродромов и автомобильных дорог предусматривают устройство деформационных швов, которые предназначены для снижения интенсивности процессов образования трещин, вызванных комплексом эксплуатационных и климатических факторов. Нарушение целостности деформационных швов ведет к проникновению воды в основание покрытия, вызывая в дальнейшем разрушение бетонных плит. Для восстановления герметичности швов в настоящее время применяется метод, отличающийся высокой трудоемкостью и стоимостью, предполагающий полную замену заполнителей. При производстве ремонта участок покрытия выводится из эксплуатации на достаточно длительный период.

Электромагнитное поле сверхвысоких частот (СВЧ) эффективно используется для нагрева различных диэлектрических материалов благодаря своей избирательности, объемному воздействию, экологичности и высокому КПД. СВЧ-технологии могут быть применены для поддержания герметичности деформационных швов, что может существенно продлить период безопасной эксплуатации покрытий, увеличить межремонтные интервалы. Для реализации этого подхода требуется исследование процессов теплообмена, протекающих при устранении дефектов покрытий, разработка специализированных установок и определение рациональных тепловых режимов их работы. Поэтому тема диссертационной работы А.Б. Недоноскова, посвященная термообработке деформационных швов цементобетонных

покрытий с использованием СВЧ нагрева, представляется актуальной и имеющей большое практическое значение.

Оценка новизны основных научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе были получены следующие новые результаты:

1. Разработан оригинальный профилактический способ термической обработки деформационных швов цементобетонных покрытий с использованием СВЧ энергии, позволяющий ликвидировать стартовые очаги разрушения в герметизирующем слое деформационных швов и обеспечить увеличение периода безопасной эксплуатации цементобетонных покрытий.

2. Созданы специальная лабораторная СВЧ установка и модель цементобетонного покрытия, отличающиеся возможностью получения зависимостей температуры от времени в определенных позициях двух- и трехслойного деформационных швов, а также окружающих бетонных плитах, позволившие экспериментально обосновать работоспособность предложенного метода профилактической СВЧ термообработки деформационных швов.

3. Предложена математическая модель процессов теплообмена при диэлектрическом нагреве фрагмента цементобетонного покрытия с применением мобильной СВЧ системы, отличающаяся учетом влияния неоднородного распределения вектора напряжённости электрического поля на мощность тепловых источников в слоистой структуре деформационного шва и окружающих цементобетонных плитах, позволяющая выбирать наиболее рациональные режимы термообработки для заданного комплекса геометрических характеристик шва, тепло- и электрофизических параметров материалов, заполняющих шов.

4. Определены расчетные значения скорости перемещения мобильного СВЧ-устройства термообработки, учитывающие мощности и частоты излучения, количества излучателей, комплекса тепло- и электрофизических параметров заполнителей швов различного типа и окружающих плит,

позволяющие разогреть герметизирующий материал до температуры текучести, но не допускающие его перегрев выше температуры вспышки.

5. Разработаны новые технические решения для организации эффективного нагрева герметизирующего материала в деформационном шве до текучего состояния, которые способствуют устранению мелких дефектов, покрытия.

Практическая значимость. Автором рецензируемой работы предложен метод профилактической термообработки деформационных швов цементобетонных покрытий, который, ликвидируя мелкие дефекты в герметизирующем слое, обеспечивает максимальную изоляцию основания от атмосферных осадков. Это экономит ресурсы вследствие увеличения длительности периода времени, предшествующего капитальному ремонту деформационных швов.

Разработаны и запатентованы:

- Способ профилактической обработки деформационных швов цементобетонных покрытий с использованием СВЧ энергии (патент РФ № 2783131 С9).

- Модели самоходного устройства и излучателя для обработки швов жестких аэродромных и дорожных покрытий СВЧ-излучением (патенты РФ на полезную модель № 208062 U1, № 210068 U1).

Материалы диссертационной работы прошли промышленную апробацию при устройстве деформационных швов в мостовых конструкциях (ООО «АвтоМостПроектИнжиниринг», г. Воронеж), а также внедрены в учебный процесс ВУНЦ ВВС «ВВА» имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» при чтении дисциплин «Эксплуатация аэродромов государственной авиации» и «Технология строительства объектов транспортного назначения».

Соответствие диссертации и автореферата паспорту научной специальности.

Диссертационная работа и автореферат соответствуют паспорту специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, а именно пунктам: п. 3 «Процессы взаимодействия интенсивных потоков энергии с веществом; совместный перенос массы, импульса и энергии в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси»; п. 5 «Научные основы и методы интенсификации процессов тепло- и массообмена и тепловой защиты. Процессы тепло- и массообмена в оборудовании, предназначенном для производства, преобразования, передачи и потребления теплоты».

Степень обоснованности и достоверности полученных результатов

Достоверность и обоснованность научных результатов и выводов математических моделей подтверждается корректным использованием фундаментальных положений теорий теплообмена и электромагнитного поля. Достоверность научных положений, теоретических выводов и практических рекомендаций диссертации подтверждается хорошим совпадением результатов математического моделирования с экспериментальными данными, широкой публикацией результатов в реферируемых журналах и их обсуждением на международных и всероссийских конференциях, а также подтверждается экспертизами РОСПАТЕНТ и ФИПС с признанием полученных технических решений изобретением и полезными моделями.

Оценка содержания диссертации и автореферата

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников из 130 наименований, содержит 60 рисунков и 14 таблиц, приложения. Текст диссертации изложен на 148 страницах.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования; сформулирована цель и определены задачи исследования.

В первой главе диссертации рассмотрены виды стартовых дефектов в герметизирующем слое деформационных швов цементобетонных покрытий и

современные способы ремонта деформационных швов. Выполнен аналитический обзор существующих математических моделей для известных СВЧ технологий, позволяющих прогнозировать развитие температурных полей при микроволновом нагреве. Рассмотрены технические устройства, реализующие термообработку материалов при СВЧ энергоподводе.

Во второй главе представлена постановка задачи экспериментального исследования о влиянии СВЧ-поля на образец цементобетонного покрытия. Приведены данные по использованному оборудованию, средствам измерения и материалам. Эксперимент проводился после предварительных теоретических оценок, включал регистрацию температуры в определенных точках двухслойного и трехслойного деформационного швов и бетонных плитах с помощью хромель-алюмелевых термопар с минутным интервалом для трех повторений. Эксперимент подтвердил возможность реализации на практике способа профилактической обработки деформационных швов, а также позволил сделать выводы об особенностях тепловых процессов при диэлектрическом нагреве в заполнителях деформационного шва – битумном герметике, уплотнительном шнуре из вспененного полиэтилена высокой плотности, в пескоцементной смеси, а также в бетоне вблизи шва. Статистическая обработка результатов измерений показала их воспроизводимость. Получены значения доверительных интервалов для температурных кривых на каждом временном шаге с вероятностью 95%. Относительная случайная погрешность во всех сериях опытов не превышает 18%.

В третьей главе диссертации сформулирована сопряженная нестационарная математическая модель теплообмена и электродинамики для фрагмента цементобетонного покрытия с деформационным швом, заполнители которого обладают различными тепло- и электрофизическими свойствами. Математическая модель реализована численно в 3D постановке на платформе COMSOL Multiphysics.

Выполнена валидация математической модели на основе данных натурального эксперимента.

Выявлены особенности процесса нагрева слоев деформационного шва в переходном режиме, обусловленные немонотонным убыванием модуля вектора напряженности электрического поля от поверхности покрытия в глубину. Показано, что математическая модель позволяет подобрать рациональные режимы термообработки деформационных швов мобильной СВЧ системой, при которых не превышает температура вспышки герметика на основе битума. Например, для указанного в работе комплекса геометрических, конструктивных, тепло- и электрофизических параметров применение мобильной системы, включающей три СВЧ антенны рупорного типа ($P_{in} = 75$ кВт, $f = 915$ МГц), скорость перемещения $\sim V = 0,9$ м/мин обеспечивает безопасное достижение температуры текучести в битумном слое.

В четвертой главе диссертации представлены технические решения, разработанные на основе проведенных исследований. Дано описание способа, обеспечивающего равномерный нагрев герметика в деформационном шве, при котором герметизирующий материал переходит в текучее состояние и восстанавливается его целостность, а также схема самоходного СВЧ устройства для обеспечения этого способа,

Разработана экспериментальная методика для определения безопасной зоны вокруг СВЧ установки, или времени нахождения персонала вблизи установки за смену при обработке деформационного шва в соответствие нормам СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах». Выполнены измерения и расчеты по предложенной методике применительно к экспериментальной СВЧ установке.

Дано технико-экономическое обоснование применения способа профилактики преждевременного разрушения деформационных швов цементобетонных покрытий с использованием СВЧ нагрева.

В заключении сформулированы основные выводы по результатам проведенных исследований.

Приложения содержат таблицы статистической обработки эксперимента, информацию о результатах интеллектуальной собственности и актах внедрения результатов диссертационной работы соискателя ученой степени.

Краткая характеристика основного содержания диссертации.

Автореферат достоверно передает основное содержание диссертации.

Основные результаты диссертации опубликованы в 18 научных работах, в том в числе, две в изданиях, рекомендованных ВАК РФ по научной специальности 2.4.6, получены три патента РФ на изобретение и полезные модели.

Диссертация написана понятным языком, имеет четкую структуру.

Диссертация является законченной самостоятельно выполненной научно-квалификационной работой, в результате выполнения которой достигнута поставленная цель исследования.

При оценке работы возникли следующие замечания:

1. В тексте автореферата и диссертации к научной новизне результатов работы отнесена разработка методики эксперимента, позволяющая выполнять оценку длительности безопасной работы персонала при работе с мобильной СВЧ системой. Данная методика обладает практической ценностью и новизной, но не относится к специальности 2.4.6. «Теоретическая и прикладная теплотехника».
2. Не ясно, почему в математической модели в качестве граничного условия на нижней границе расчетной области выбрано граничное условие третьего рода, а также как выбраны значения в это услвие коэффициенты теплоотдачи.
3. На верхней границе расчетной области считается, что лучистый поток от поверхности в окружающую среду зависит от

температуры воздуха. Однако это не всегда справедливо, поскольку эффективная радиационная температура среды может быть другой. Кроме того, возможно солнечное излучение на поверхность.

4. В диссертации не приведены данные о том, проводилось ли при численном моделировании исследование влияния количества узлов расчетной сетки на получаемое решение.
5. Не ясно, каким образом учитывались затраты энергии на работу установки при расчете экономического эффекта от ее внедрения.

Указанные замечания не ставят под сомнение результаты, полученные в диссертации и сделанные соискателем выводы.

Заключение по диссертационной работе.

Диссертация Недоноскова А.Б. является завершенной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи определения основных закономерностей процессов теплообмена и обеспечения необходимых температурных режимов при интенсивном СВЧ нагреве деформационных швов, направленной на увеличение периода безопасной эксплуатации цементобетонных покрытий.

Считаю, что диссертационная работа Недоноскова Александра Борисовича «Тепловая обработка деформационных швов цементобетонных покрытий СВЧ нагревом», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, является законченным самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой предложено решение важной научно-практической задачи.

По представленным результатам и выводам, научной новизне, научной и практической значимости полученных диссертация «Тепловая обработка деформационных швов цементобетонных покрытий СВЧ нагревом» соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской

Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор - Недоносков Александр Борисович - заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор,
 профессор кафедры
 «Тепломассообменные процессы
 и установки»
 ФГБОУ ВО «Национальный
 исследовательский университет «МЭИ»

Гаряев
 Андрей Борисович

«17» 03 2026 г.

Докторская диссертация Гаряева А.Б. защищена по специальности 05.14.04 «Промышленная теплоэнергетика» (2010 г.).

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» 1
 11250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14, стр. 1.
 Тел.: +7 495 362-70-01, +7 495 362-72-01 E-mail: universe@mpei.ac.ru

Подпись профессора кафедры «Тепломассообменные процессы и установки» ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ» доктора технических наук, профессора Гаряева Андрея Бо



ПРЕДСЕДТЕЛЬ НАЧАЛЬНИКА
 РАБОТЫ С ПЕРСОНАЛОМ
 Л.Н. ПОЛОВАЯ