

## УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «ТГТУ»,  
доктор технических наук, профессор

  
Д.Ю. Муромцев

(подпись)

03

2026 г.

(дата, м.п.)

## ОТЗЫВ

## ОТЗЫВА

на диссертацию 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.**

Стратегия развития промышленности строительных материалов в Российской Федерации до 2030 года предусматривает увеличение доли автомобильных дорог с применением цементобетона. Так же транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года относит к числу приоритетных целей развитие сети аэродромов (аэропортов) гражданской авиации, включающей как их новое строительство, так и модернизацию, реконструкцию, ремонт инфраструктуры уже существующих объектов.

Цементобетонные покрытия долговечнее асфальтобетонных, они стойки к агрессивному воздействию среды, обеспечивают высокое сцепление с колесом, а также лучшую видимость на дороге, что содействует повышению безопасности дорожного движения. Их прочность и износостойкость позволяют пропускать грузовые автомобили с большим объемом грузов и повышать интенсивность дорожного движения, что приобретает особое значение в контексте транспортных проблем Российской Федерации.

Практический опыт эксплуатации цементобетонных покрытий показывает, что фактический срок их службы часто меньше нормативного. Одна из причин – нарушение целостности деформационных швов, проникновение через негерметичные швы воды, переувлажнение основания, что вызывает просадки и разрушение плит. Существующий метод восстановления герметичности деформационных швов цементобетонных покрытий, заключающийся в полной замене заполнителей шва, является трудоемким и дорогостоящим. При проведении такого вида ремонта деформационных швов эксплуатация цементобетонного покрытия

прерывается на достаточно длительный период.

Известны инновационные решения в строительной отрасли, которые используют возможности электромагнитного поля сверхвысоких частот (СВЧ энергии) для нагрева диэлектрических материалов. Применение СВЧ-технологий открывает новые возможности для обеспечения высокого качества деформационных швов и увеличения межремонтных сроков для цементобетонного покрытия. Для успешной реализации данного подхода необходимо разработать специализированные установки, способные осуществлять СВЧ-нагрев деформационных швов, а также провести научные исследования для определения наиболее эффективных режимов их работы.

Поэтому диссертационная работа Недоноскова А.Б., посвященная исследованию процессов теплообмена при СВЧ-нагреве деформационных швов цементобетонных покрытий, является актуальной и имеет большое практическое значение.

### **Структура и содержание диссертации.**

Диссертация, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и трех приложений. Диссертационное исследование представлено на 148 страницах, включает 60 рисунков и 14 таблиц.

**В первой главе** рассмотрены типовые схемы заполнения деформационных швов цементобетонных покрытий; основные дефекты, возникающие при их эксплуатации; способы ремонта деформационных швов. Выполнен анализ известных технических решений по применению электромагнитного излучения в СВЧ диапазоне для интенсификации тепловых процессов в дорожном и аэродромном строительстве. Представлен обзор результатов экспериментальных и теоретических исследований, выполненных для обоснования технологий диэлектрического нагрева различных материалов, в том числе асфальтобетонной смеси, битума, полимеров, нефти, грунта, льда, древесины. На основе анализа имеющихся научных публикаций сформулирована цель и определены задачи исследования.

**Во второй главе** выполнено экспериментальное исследование для обоснования потенциала применения СВЧ-энергии с целью восстановления целостности герметизирующего слоя двух- и трехслойных деформационных швов цементобетонного покрытия. Дано описание материалов и оборудования, использованных при постановке эксперимента по интенсивной термообработке деформационных швов, проведена статистическая обработка результатов измерений температуры.

**В третьей главе** приведена сопряженная трехмерная нестационарная математическая модель теплообмена и электродинамики для фрагмента цементобетонного покрытия с деформационным швом, заполнители которого обладают различными тепло- и электрофизическими свойствами. Представлены результаты успешной валидации математической модели с использованием данных натурального эксперимента СВЧ нагрева

деформационных швов. Таким образом, обосновано применение предложенной математической модели для прогнозирования результатов СВЧ воздействия на герметик и на другие элементы покрытия. Показано, что скорость термообработки можно увеличить за счет формирования мобильных систем из нескольких излучателей. Эффективная и безопасная скорость перемещения этой системы зависит от комплекса режимных, и конструктивных параметров, а также тепло- и электрофизических свойств материалов.

**В четвертой главе** представлены технические решения, разработанные на основе проведенных исследований. Предложена схема самоходного СВЧ устройства, обеспечивающего равномерный нагрев герметика в деформационном шве, при котором герметизирующий материал переходит в текучее состояние и восстанавливается его целостность. Разработан способ профилактической термообработки деформационных швов цементобетонных покрытий с использованием СВЧ энергии для предупреждения их преждевременного разрушения, заключающийся в ликвидации мелких дефектов, которые обычно инициируют процесс разрушения шва. Дополнительно выполнены измерения плотности потока энергии электромагнитного поля, создаваемого экспериментальной СВЧ установкой. В соответствии с нормами СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» разработана методика расчета параметров безопасной зоны работы обслуживающего персонала СВЧ установки, предназначенной для термообработки деформационных швов цементобетонных покрытий.

**В заключении** приведены основные результаты диссертационного исследования, говорящие о достижении цели работы и решении поставленных задач.

**В приложениях** приведены результаты статистической обработки результатов исследований, полученные патенты на изобретение и полезные модели, а также акты промышленной апробации и внедрения результатов исследования.

#### **Научная новизна результатов исследования.**

Разработан оригинальный способ профилактической обработки деформационных швов цементобетонных покрытий с использованием СВЧ энергии в качестве источника нагрева герметизирующего материала деформационных швов, позволяющий увеличить межремонтные сроки эксплуатации деформационных швов цементобетонных покрытий, на который получен патент на изобретение.

С помощью специальной лабораторной установки экспериментально подтверждена работоспособность предложенного технического решения, направленного на поддержание высокого качества деформационных швов цементобетонных покрытий, за счет периодического нагрева герметизирующего слоя с использованием энергии электромагнитного поля сверхвысоких частот.

Новизна разработанной математической модели процессов теплообмена при интенсивном диэлектрическом нагреве фрагмента цементобетонного покрытия с применением мобильной СВЧ системы обусловлена учетом влияния неоднородного распределения вектора напряжённости электрического поля на мощность тепловых источников в слоистой структуре деформационного шва и окружающих цементобетонных плитах. Модель позволяет определять наиболее рациональные режимы термообработки для заданного комплекса геометрических характеристик шва, тепло- и электрофизических параметров материалов, заполняющих шов.

Для выбранного комплекса условий (мощности и частоты излучения, количества излучателей и их геометрии, тепло- и электрофизических параметров заполнителей шва и окружающих плит) установлены расчетные значения скорости перемещения мобильного устройства СВЧ термообработки, позволяющие разогреть герметизирующий материал до температуры текучести, без его перегрева до недопустимой температуры (температуры вспышки).

Разработаны новые технические решения, обеспечивающие нагрев герметика в деформационном шве, переход его в текучее состояние, и «заплывание» мелких дефектов – небольших трещин и отслоений герметика от поверхности цементобетонных плит (получены патенты на полезную модель).

Разработана методика эксперимента, позволяющая выполнять оценку длительности безопасной работы персонала при работе с мобильной СВЧ системой, применительно к процессу термообработки деформационных швов цементобетонных покрытий.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, выносимых на защиту.**

В диссертационной работе Недоноскова А.Б. обосновано применение оригинального способа профилактической обработки деформационных швов цементобетонных покрытий с использованием СВЧ энергии в качестве источника нагрева герметизирующего материала деформационных швов, позволяющего увеличить межремонтные сроки эксплуатации деформационных швов цементобетонных покрытий.

Научные результаты, изложенные в диссертации, получены на основе применения известных общепринятых положений теорий теплообмена и электромагнитного поля. Численные эксперименты проведены на платформе универсальной среды численного моделирования COMSOL Multiphysics, успешно апробированной широким кругом исследователей. Сопоставление результатов математического моделирования и натурального эксперимента доказало адекватность сформулированной математической модели.

Планирование и обработка эксперимента осуществлены с использованием общеизвестных методов. Для реализации эксперимента применялись современные средства измерений. Относительная случайная погрешность результатов опытов составила менее 18%.

### **Практическая значимость диссертационного исследования.**

Практическая значимость заключается в разработке способа профилактики разрушения деформационных швов цементобетонных покрытий, специальных устройств для реализации данного способа, метода определения режимных параметров СВЧ обработки. Внедрение полученных в работе технических решений позволит повысить долговечность цементобетонных покрытий за счет своевременной ликвидации стартовых разрушений путем СВЧ нагрева герметика в деформационном шве, при котором герметизирующий материал переходит в текучее состояние и восстанавливается его целостность.

Предложенная математическая модель может быть использована на этапе проектирования рациональных режимов термообработки деформационных швов при заданных тепло- и электрофизических параметрах материалов, заполняющих шов, геометрических характеристиках шва и конструкции антенн.

Результаты работы прошли успешную производственную апробацию в ООО «АвтоМостПроект-Инжиниринг» (г. Воронеж) при реконструкции мостового сооружения с деформационным швом между пролетными строениями, когда использование СВЧ нагрева позволило обеспечить прочное сцепление между слоями щебня и герметика.

### **Теоретическая значимость диссертационного исследования.**

К теоретически значимым результатам диссертационной работы относится разработка и исследование математической модели нестационарного нагрева движущимся источником СВЧ излучения составного элемента цементобетонного покрытия, который включает деформационный шов слоистой структуры из материалов с различными теплофизическими и электрофизическими свойствами, а также фрагменты окружающих его бетонных плит. Установлена важность комплексной постановки задачи для понимания особенностей развития температурных полей в объектах рассматриваемого типа, которые определяются, в том числе, структурой формируемой электромагнитной волны.

### **Достоверность результатов и выводов диссертации.**

Достоверность теоретических результатов исследования обеспечена корректным использованием общепринятых положений теорий теплообмена и электромагнитного поля.

Достоверность результатов экспериментального исследования обоснована применением известных методик статистической обработки данных, подтверждающих их воспроизводимость и определяющих случайную ошибку измерений.

### **Рекомендации по использованию результатов исследования.**

Технические решения, разработанные соискателем, рекомендуются к внедрению в аэродромной и дорожной отрасли.

Рекомендуется использовать разработанные и защищенные патентами результаты диссертационного исследования, направленные на повышение

долговечности цементобетонных покрытий, позволяющие увеличить межремонтные сроки эксплуатации деформационных швов цементобетонных покрытий:

– способ обработки и восстановления рабочих свойств жестких аэродромных и дорожных покрытий (патент на изобретение RU 2783131 C9, 25.05.2023);

– самоходное устройство для обработки швов жестких аэродромных и дорожных покрытий СВЧ-излучением (патент на полезную модель RU 208062 U1, 01.12.2021);

– СВЧ-излучатель для обработки швов жестких аэродромных и дорожных покрытий (патент на полезную модель RU 210068 U1, 28.03.2022).

#### **Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности.**

Тема диссертации Недоноскова Александра Борисовича «Тепловая обработка деформационных швов цементобетонных покрытий СВЧ нагревом» соответствует паспорту научной специальности 2.4.6. Теоретическая и прикладная теплотехника, в частности, 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» и 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».

#### **Апробация работы и публикации по диссертации.**

Имеющиеся публикации полностью отражают содержание диссертации. Основные результаты работы по диссертации изложены в 18 публикациях, из них 2 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК, 3 патента на изобретение и полезные модели. Основные результаты диссертационной работы докладывались и были опубликованы в сборниках трудов конференций.

#### **Замечания по диссертации.**

1. Вычислительный эксперимент для СВЧ нагрева фрагмента цементобетонного покрытия проводился в условиях, соответствующих летнему периоду. Неясно насколько потребуется изменить характеристики мобильной системы, режимы движения, чтобы стартовые разрушения в слое герметика были ликвидированы в зимний период при низких температурах материалов цементобетонного покрытия и окружающей среды?

2. Заплывание трещин и отслоений расплавленным герметиком, обладающим, очевидно, сложными реологическими свойствами, происходит в определенном гидродинамическом режиме в течение определенного времени. В работе нет оценок (расчетов) периода времени, который необходим для реализации данного процесса.

3. Результаты математического моделирования показывают достаточно интенсивный разогрев бетонных плит в окрестности деформационного шва. Это может сказаться на их мгновенной и длительной прочности?

### **Заключение по диссертации.**

Диссертация Недоноскова А.Б. на тему «Тепловая обработка деформационных швов цементобетонных покрытий СВЧ нагревом» является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно-обоснованные технические решения по повышению долговечности цементобетонного покрытия, за счет периодической тепловой СВЧ обработки герметика в деформационном шве, при которой герметизирующий материал переходит в текучее состояние и восстанавливает свою целостность, имеющие существенное значение для аэродромной и дорожной отраслей Российской Федерации.

Автореферат отражает содержание диссертации, стиль изложения хороший. Структура диссертации и автореферата, их оформление соответствуют установленным требованиям. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих рецензируемых журналах.

Диссертация «Тепловая обработка деформационных швов цементобетонных покрытий СВЧ нагревом» соответствует п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, является законченной научно-квалификационной работой, а ее автор – Недоносков Александр Борисович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.6 – Теоретическая и прикладная теплотехника.

Отзыв на диссертацию и автореферат рассмотрен и одобрен на заседании кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» (протокол № 8 от «03» марта 2026 г.).

Заведующий кафедрой «Энергообеспечение  
предприятий и теплотехника»

доктор технических наук, доцент Грибков Грибков Алексей Николаевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Тамбовский государственный технический  
университет»

Адрес: 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5, помещение 2

Телефон: +7 (4752) 63-10-19

Факс: +7 (4752) 63-06-43

E-mail: [tstu@tstu.ru](mailto:tstu@tstu.ru)

<https://www.tstu.ru>

**ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
НЫЙ СЕКРЕТАРЬ ТГТУ**

Мозгова Г.В. Мозгова  
03 » марта 2026 г.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ТАМБОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»