

Отзыв официального оппонента

доктора технических наук, профессора

Бондарева Бориса Александровича

на диссертационную работу **Кадырова Георгия Фарруховича**
на тему «Прогнозирование усталостной выносливости асфальтобетонных
слоев дорожных одежд на основе физического моделирования»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук
по научной специальности 2.1.8 - Проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей
(технические науки).

Диссертационная работа Кадырова Георгия Фарруховича включает в себя - основной текст диссертации, состоящий из введения, четырех разделов, заключения, списка литературы из 120 наименований и 1 приложения.

1. Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертационная работа Г.Ф. Кадырова посвящена вопросам совершенствования методов расчета и прогнозирования усталостных повреждений в асфальтобетонных слоях дорожных одежд. В настоящее время данная тематика имеет особую актуальность, так как на практически 70 % всех эксплуатируемых автомобильных дорог на 5-7 год их эксплуатации появляется такой дефект как сетка трещин, напрямую связанных с цикличностью приложения нагрузок и являющихся основным индикатором «усталости» асфальтобетонных слоев. Весь современный мировой опыт проектирования нежестких дорожных одежд прямо говорит: усталостные разрушения – один из наиболее критических дефектов, напрямую определяющих предельное состояние дорожной одежды. Повышение точности и достоверности его прогнозирования одна из наиболее важных задач современной дорожной науки, решение которой позволит значительно продлить сроки службы автомобильных дорог и как следствие сократить их эксплуатационные затраты. Актуальность данной проблемы подчеркивается и большим вниманием к данной проблематике в высококвартильных изданиях входящих в международные базы данных. Пожалуй, вопросы проектирования дорожных одежд на основе анализа усталостных повреждений являются второй по популярности тематикой статей, после публикаций посвященных

созданию и модификации дорожно-строительных материалов. Отдельного внимания заслуживает, то, что в данной работе впервые за долгие годы представлены результаты именно физического крупномасштабного моделирования напряженно-деформированного состояния нежесткой дорожной одежды. Это направление также отвечает одному из наиболее распространенных трендов исследований в современной дорожной науке – исследованию деформирования реальной дорожной одежды под различными видами нагрузок в режиме управляемого эксперимента.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна.

Обоснованность и достоверность научных положений в диссертационной работе Г.Ф. Кадырова обеспечивается применением современного высокоточного лабораторного оборудования, прошедшего полную метрологическую аттестацию, грамотной работой с классическими отечественными источниками, такими как труды Н.Н. Иванова, А.М. Кривисского, М.Б. Корсунского, Б.С. Радовского и др, а также с передовым мировым опытом исследований в области усталостного разрушения. Значительное внимание автор уделил вопросам математического моделирования напряженно-деформированного состояния слоистой среды с применением аналитической модели базирующейся на точном решении теории упругости, а также вопросам обоснования размеров созданной им в рамках диссертационной работы крупномасштабной модели. Также автором выполнен значительный блок лабораторных и полевых исследований с применением современного высокоточного оборудования, такого как установки для испытаний асфальтобетона на не прямое растяжение (в лабораторных условиях) и установки динамического нагружения для определения модуля упругости слоя асфальтобетона в натуральных условиях. Таким учитывая значительный объем экспериментальных и теоретических исследований достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, не вызывает сомнений.

Научная новизна работы заключается в создании нового научно обоснованного подхода к прогнозированию усталостной выносливости асфальтобетонных слоев, сочетающий в себе проведение исследований в лабораторных условиях на образцах асфальтобетонных слоев, полевых исследований на крупномасштабной модели дорожной одежды, и численном моделировании напряженно-деформированного состояния слоистой среды, что позволило интегрировать кривые усталостных повреждений, полученные для отдельных материалов в методику численного моделирования ориентированную на вычисление растягивающих деформаций на нижней границе пакета асфальтобетонных слоев.

К отдельным пунктам научной новизны можно отнести:

- полученные автором коэффициенты перехода для пересчета модуля упругости асфальтобетона, полученного с применением различных методов измерений – полевых, с применением установок ударного нагружения, и лабораторных, с применением современного высокоточного измерительного оборудования для оценки усталостных повреждений либо традиционной для отечественной практики установки ГосдорНИИ, на основе которой были получены модули упругости в действующих нормативных документах.

- комплекс усовершенствованных, на основе лабораторных испытаний, эмпирических моделей для прогнозирования усталостных повреждений в асфальтобетонных слоях, позволяющих прогнозировать количество циклов до наступления усталостного отказа.

3. Значимость результатов для науки и практики

Значимость результатов для науки заключается в создании экспериментальной и расчетной базы позволяющей ускорить переход на современные методы механико-эмпирического проектирования дорожных одежд в условиях Российской Федерации. Так в работе Кадырова Г.Ф. приводится значительный объем исследований позволяющих осуществить переход с традиционного для СССР и Российской Федерации подхода к прогнозированию усталостного разрушения в зависимости от растягивающих напряжений на нижней границе асфальтобетона к прогнозированию усталостных повреждений в зависимости от растягивающих деформаций. На обоснование данного подхода направлены прямые измерения растягивающих

деформаций на нижней границе пакета асфальтобетонных слоев с применением датчиков относительных деформаций KM-100HAS, построение кривых соотношения количества циклов приложения нагрузки и растягивающих деформаций в образцах асфальтобетона в лабораторных условиях и на установках непрямого растяжения, а также вычисление растягивающих деформаций на нижней границе пакета асфальтобетонных слоев в ходе численного моделирования.

4. Оценка содержания диссертации

Во введении к диссертационной работе показана актуальность темы исследования, описаны предмет и объект исследования, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, определены научная новизна, практическая и теоретическая значимость исследования.

В первой главе диссертационного исследования автором приводится подробный анализ состояния вопроса. Отмечаются как классические для отечественной дорожной науки исследования Н.Н. Иванова, А.М. Кривисского, М.Б. Корсунского, Б.С. Радовского, А. О Салля и др., так и современные научные труды, вышедшие за последние годы в высококвартильных изданиях в международных базах данных. Также автором проанализирована действующая нормативно-техническая документация в области расчета по критерию усталостного разрушения. Приведены достоинства и недостатки существующих подходов. На основе проведенного в первой части анализа сформулированы основные цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе автором описываются научное обоснование и теоретические предпосылки создания физической модели дорожной одежды. Приведено описание классической постановки задачи прогнозирования усталостного ресурса по Болотину. Для обоснования размеров физической модели выполнен расчет напряженно-деформированного состояния, и установлены предельные расстояния, на которых происходит затухание напряжений в структуре дорожной одежды. Отдельно внимание на себя обращает то, что расчет выполнен для слоистой среды, что значительно уточняет его в сравнении с традиционно применяемыми схемами однородного полупространства. Также во второй главе автором представлено описание датчиков для мониторинга напряженно-деформированного состояния в структуре дорожной одежды, а также алгоритмов их закладки. Разработанные автором алгоритмы достаточно подробно, и помимо перечня технологических

операций содержат комплекс мер по их точному позиционированию в структуре дорожной одежды, обеспечивающей повышенную точность и воспроизводимость эксперимента. Описано оборудование применяемое для статического и динамического нагружения, воспроизводимого как на поверхности отдельных слоев дорожной одежды по мере их возведения, так и завершенной строительством конструкции.

В третьей главе автором описывается процесс возведения физической модели, а также комплекс лабораторных и натурных экспериментов, направленный на исследование растягивающих деформаций на физической модели от прикладываемой поверхностной нагрузки, и установление зависимости между количеством циклов приложений нагрузки и усталостным разрушением в лабораторных условиях. Представленная глава снабжена фотоматериалами, что не оставляет сомнений в самостоятельном участии автора работа в процессе создания физической модели. Подробно описаны конструкции дорожных одежд, сооружаемых на каждой секции построенной физической модели. Приводятся результаты измерения общего модуля упругости на поверхности каждого вновь возводимого слоя при статическом и динамическом нагружении, а также результаты обратного пересчета модулей упругости слоев дорожной одежды. Следует отметить, что для слоев дорожной одежды из современных материалов, такой расчет был выполнен впервые, что является крайне важным для совершенствования методов проектирования дорожных одежд. Приводится подробное описание результатов регистрации растягивающих деформаций в структуре асфальтобетонных слоев. Также подробно описаны процессы лабораторных испытаний образцов асфальтобетонов, которые были применены при возведении конструктивных слоев. При проведении лабораторных измерений применялось как современное наукоемкое оборудование – оборудование для испытания асфальтобетона на не прямое растяжение, так и традиционная для нормативно-технической базы СССР и Российской Федерации установка ГосдорНИИ. По итогам проведенных лабораторных исследований автором приведены результаты сопоставления модулей упругости асфальтобетонов, полученных на разном испытательном оборудовании и приведены регрессионные зависимости между относительной начальной деформацией и количеством циклов до момента разрушения.

В четвертой главе автором приводится описание разработанной им методики прогнозирования усталостной выносливости асфальтобетонных слоев дорожных одежд на основе физического моделирования. В рамках данной главы автором представлено сопоставление между замеренными на физической модели растягивающими деформациями и расчетными

величинами растягивающих деформаций, полученными на математической модели слоистой среды. На основе лабораторных испытаний автором представлен комплекс расчетных моделей для прогнозирования усталостной долговечности для различных асфальтобетонов, что учитывается путем введения эмпирических коэффициентов, зависящих от типа асфальтобетона, из которого устраивается слой. При прогнозировании усталостной выносливости автором предложен оригинальный подход, предполагающий определение растягивающих деформаций на математической модели слоистой среды с последующей их подстановкой в регрессионные зависимости, определенные на основе результатов лабораторных испытаний. Предложенный подход проиллюстрирован на двух секциях физической модели. Показано, что усталостный ресурс асфальтобетона в значительной степени отличается в зависимости от нижележащего слоя. Так, в частности, установлено, что слои асфальтобетона, лежащие на холодной органоминеральной смеси, значительно более устойчивы к усталостному разрушению, чем лежащие на ЦПС, укрепленной цементом.

В заключении автор представляет результаты выполненного исследования и формулирует направление дальнейших исследований.

5. Замечания по диссертационной работе:

1. Глава 2. Автором в начале приводится описание классической постановки задачи, изложенной в трудах, Болотина, в частности, монографии «Прогнозирование ресурса машин и конструкций», которая сводится к представлению аналогичному гипотезе Майнера. Однако кроме линейных гипотез существуют также и нелинейные. Было бы интересно рассмотреть в том числе и описание нелинейных гипотез, как базы для продолжения исследований.
2. Глава 2. Автор в качестве основного критерия установления размеров физической модели использует критерий достижения вертикальных напряжений в дорожной одежде, составляющих 1% от приложенного к верху покрытия нагрузки, что соответствует погрешности планируемых в использовании датчиков регистрации напряжения и относительных растягивающих деформаций. Но это в статике. Проводились ли им аналогичные расчеты для динамического НДС, или же какие-либо экспериментальные замеры, которые позволили бы подтвердить отсутствие искажения НДС конструкции при ударном нагружении.

3. Глава 3. Следовало бы более подробно описать алгоритм построения регрессионных зависимостей под данным испытанием асфальтобетонов на непрямоe растяжение. В целом идея автора понятна, однако возникают вопросы расширения подобного подхода на другое оборудование. Например, установки четырехточечного нагружения.
4. Глава 4. Рекомендуется в будущем излагать описание методик расчета с применением блок – схем. Это сделало бы визуально понятнее структуру изложения материала.
5. Глава 4. В завершении главы хотелось бы более подробно увидеть, как автор видит включение полученных им результатов в форму механико-эмпирических методов. По сути, в данной работе им были получены модели работоспособности различных асфальтобетонов, базирующиеся на физическом моделировании и лабораторных испытаниях. Однако интеграция этих зависимостей в значительно более объемный метод расчета требует более подробного описания.

Высказанные замечания не являются критическими и не снижают общего уровня и качества данной работы. По количеству и объему проведенных экспериментов, а также по общей сложности реализации физической модели данная работа безусловно заслуживает исключительно положительной оценки. Впервые за последние годы была проведена работа, объединяющая в себе эксперименты на трех уровнях – уровне лабораторных испытаний (предполагающих изучение образцов из материала конструктивных слоев), уровне полевых измерений (представляющих собой измерение непосредственно на поверхности завершающих строительством слоев), и уровне математического моделирования на основе аналитической модели, реализующей точное решение теории упругости. Все представленные методы изящно скомбинированы в методику прогнозирования усталостной выносливости асфальтобетонных слоев, и безусловно найдут свое применение при дальнейшей научной работе автора.

6. Соответствие диссертации и автореферата установленным критериям и требованиям

Диссертация и автореферат соответствуют критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней. Результаты работы хорошо опубликованы в авторитетных рецензируемых профильных изданиях, включенных в перечень ВАК Минобрнауки России в достаточном количестве. Особо нужно отметить, что практически все опубликованные Г.Ф. Кадыровым публикации соотносятся с результатами, полученными в ходе диссертационной работы.

Работа широко освещена и обсуждалась в ряде научно-практических конференций, отдельные ее аспекты обсуждались на научно-технических советах Федерального дорожного агентства и Государственной компании «Российские автомобильные дороги». Результаты исследований отражены в ряде НИОКР Росавтодора, осуществляемых в период с 2017 по 2024 годы. Отдельно следует отметить, что автор принимал участие в разработке ряда национальных стандартов, таких как:

ГОСТ Р 58401.11-2019 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения усталостной прочности при многократном изгиб»

ГОСТ Р 59280-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Смеси асфальтобетонные дорожные и асфальтобетон. Метод определения усталостной долговечности при непрямом растяжении.»

Автореферат диссертационной работы написан понятным языком и полностью отражает все ключевые пункты диссертации.

Рецензируемая диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей значение для развития дорожной отрасли и содержащей новые научно-обоснованные результаты в области проектирования надежных и долговечных дорожных одежд, достигаемые за счет совершенствования метода прогнозирования усталостной выносливости асфальтобетонных слоев на основе физического моделирования.

На основе всего вышесказанного можно сделать заключение, что диссертация «Прогнозирование усталостной выносливости асфальтобетонных слоев дорожных одежд на основе физического моделирования» соответствует требованиям пп.9-11, 13, 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года. А ее автор, Кадыров Георгий Фаррухович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по

специальности 2.1.8 - Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки).

Официальный оппонент:

Бондарев Борис Александрович

Доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Строительного
материаловедения
и дорожных технологий»
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный
технический университет»
научная специальность 05.21.01 –
Технология и машины
лесного хозяйства и лесозаготовок,
05.21.05 – Технология и оборудование
деревобрабатывающих
производств, древесиноведение.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет», Почтовый адрес: 398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д. 30. Тел. +7 474 232-80-83, e-mail: lnsp-48@mail.ru

Подпись оп



нента Бондарева Б.А. заверяю:

Ученый
совета универси



Колобанов
Сергеевич

Алексей

12.01.2026