

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 625.7/.8.001.5

БУРТЫЛЬ
Юрий Валерьевич

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПРИ ВЫБОРЕ ВИДА РЕМОНТА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВАНИИ ДИНАМИКИ
ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.11 – проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Минск, 2023

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научные руководители:

ЛЕОНОВИЧ Иван Иосифович,

доктор технических наук, профессор, Белорусский национальный технический университет, кафедра «Строительство и эксплуатация дорог», заслуженный деятель науки и техники БССР;

КАПСКИЙ Денис Васильевич,

доктор технических наук, доцент, заместитель Председателя Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь

Официальные оппоненты:

ВЕРЕНЬКО Владимир Адольфович,

доктор технических наук, профессор;

НАСКОВЕЦ Михаил Трофимович,

кандидат технических наук, доцент, Белорусский государственный технологический университет, кафедра лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства

Оппонирующая организация

Государственное предприятие «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ»

Защита состоится 17 марта 2023 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.05 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, проспект Независимости, 65, корпус 1, ауд. 202. Телефон ученого секретаря (+37517) 293-96-73, e-mail: kovshar-36@tut.by.20.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «14» февраля 2023 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат технических наук



С. Н. Ковшар

© Буртыль Ю.В., 2023

© Белорусский национальный
технический университет, 2023

ВВЕДЕНИЕ

Увеличение силового и усталостного воздействия транспорта на дорожные конструкции не может не сказываться на снижении эффективности методов назначения и выбора ремонтно-восстановительных мероприятий. Потребность в проведении капитальных ремонтов, назначаемых на автомобильных дорогах общего пользования в современных условиях растет и превышает планируемые расходы – выделяемые средства в несколько раз. Требуется более детальное обоснование выбора ремонта из множества характерных поврежденных участков, одновременно назначенных в ремонт.

В существующей практике, в первую очередь выполняется устранение визуальных дефектов дорожного покрытия. Ремонт проводится на стадии завершения формирования деформаций материалов, что является запоздалым и малоэффективным решением. В дополнение к этому, при ограниченном финансировании, проведение текущих ремонтов покрытий рассматривается в качестве поддерживающей стратегии там, где необходимо выполнение капитального ремонта или реконструкции. Практика замены работ по ремонту дорожной конструкции устройством или ремонтом защитных слоев требует рационального обоснования применения. Обоснованием может быть разработка количественных показателей и методик назначения ремонтов на основании инструментальных измерений наличие которых в настоящее время недостаточно.

Необходимо дополнить метод сравнением фактического состояния дорожной конструкции с нормативным, по ряду параметров, на момент обследования, разработать методы выбора участков первоочередного ремонта по эксплуатационному состоянию и динамике ухудшения количественных показателей. Это обеспечит долговременную работу дорожной конструкции без отказа и в первую очередь повысит эффективность принятых решений.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами.

Тема диссертации соответствует перечню приоритетных направлений научных исследований Республики Беларусь на 2021–2025 годы (пункт 3) и Национального плана действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 годы, положениям Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития на период до 2030 г.

Диссертационная работа выполнена в соответствии с Концепцией обеспечения безопасности дорожного движения в Республике Беларусь

(пункт 6.3), разработанной на основании положений Закона Республики Беларусь «Об автомобильных дорогах и дорожной деятельности».

Диссертационное исследование выполнялось, в том числе, в рамках следующих работ:

1. При разработке (основной разработчик) дорожно-методического документа «Рекомендаций по определению, назначению и учету соблюдения нормативных межремонтных сроков службы дорожных одежд и мостовых сооружений автомобильных дорог в зависимости от видов применяемых при строительстве (ремонте) конструктивных решений и технологий», заказчик – Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь (договор № 10/16).

2. При разработке технического кодекса установившейся практики «Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики» ТКП 140, заказчик – Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь (договор № 8/14).

3. При разработке (основной разработчик) дорожно-методического документа «Методические рекомендации по определению параметров эксплуатационного состояния автомобильных дорог в зависимости от их сроков службы», заказчик – Департамент «Белавтодор» (договор № 28/11).

4. При разработке (руководитель разработки) дорожно-методического документа «Диагностика автомобильных дорог на проектном уровне», заказчик – Департамент «Белавтодор» (договор № 28/10).

5. При разработке (ответственный исполнитель) нормативного документа «Инструкция по оценке остаточного ресурса жестких дорожных конструкций автомобильных дорог», заказчик – Комитет автомобильных дорог Республики Казахстан (договор № 44).

6. При выполнении НИР «Исследование влияния современных транспортных нагрузок на асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог», заказчик – Департамент «Белавтодор» (договор № 12/04).

Цель и задачи исследования. Целью работы является разработка системы назначения ремонтов на автомобильных дорогах на основании анализа изменения эксплуатационного состояния. Для достижения поставленной цели определены следующие задачи исследования:

1. Определить параметры модели изменения эксплуатационного состояния автомобильной дороги на основании прироста деформаций в слоях дорожной конструкции и неровностей покрытия в течение периода эксплуатации.

2. Выполнить практические исследования, подтверждающие корреляционную зависимость изменения показателя ровности дороги во времени, на основании результатов диагностики, за период 8–15 лет на опытных участках автомобильных дорог общего пользования.

3. Разработать методику расчета комплексного показателя эксплуатационного состояния автомобильных дорог.

4. По результатам исследований и на основании подтвержденных моделей разработать алгоритм назначения ремонтов дорожных конструкций, установить вид ремонтного мероприятия.

5. Разработать методику расчета: толщины выравнивающего слоя, глубины фрезерования, уровня дефектности дорожной одежды при выборе ремонтов с учетом значений комплексного показателя и модели изменения ровности.

Объектом исследования являются нежесткие дорожные одежды автомобильных дорог общего пользования. Выбор обоснован необходимостью совершенствования системы назначения ремонтных мероприятий и разработке модели прогнозирования эксплуатационного состояния на автомобильных дорогах.

Предметом исследования является ровность дорожных покрытий и ее изменение во времени. Выбор обоснован необходимостью оценки фактической (эксплуатационной) надежности с учетом формирования необратимых деформаций, величина которых характеризуется объемом неровностей.

Научная новизна.

1. Разработана и обоснована модель изменения ровности дорожных покрытий нежестких дорожных одежд на основании данных многолетней диагностики автомобильных дорог.

2. Предложен метод расчета комплексного показателя эксплуатационного состояния дорог на основании оценки динамики прироста неровностей и деформаций.

3. Разработана методика выбора ремонта дорожной конструкции, которая позволяет установить вид и сроки его выполнения, обосновать участки первоочередного ремонта и оптимизировать затраты ресурсов.

4. Разработана методика расчета толщины выравнивающих слоев и глубины фрезерования асфальтобетонного покрытия при выполнении ремонтных работ.

Преимущество и новизна методик и методов заключается в своевременном предупреждении развития критических дефектов, в новых критериях назначения и проведения капитального ремонта, а также в обосновании замены дорогостоящего ремонта менее затратным.

Положения, выносимые на защиту.

1. Аппроксимированная эмпирическая модель изменения показателя ровности покрытия во времени, позволяющая прогнозировать формирование необратимых деформаций в дорожной конструкции.

2. Методика и метод оценки эксплуатационного состояния нежестких дорожных конструкций на основании коэффициентов эксплуатационной надежности. Преимущество разработанной методики заключается в своевременном предупреждении развития критических разрушений и принятия наиболее рационального решения по выбору ремонта.

3. Методика расчета толщины выравнивающего слоя и глубины фрезерования при назначении ремонтных мероприятий в зависимости от прогнозируемого изменения ровности и площади повреждения дорожного покрытия. Преимущество методики заключается в обеспечении безопасного и комфортного движения при достижении требований по ровности покрытия.

4. Алгоритм назначения ремонтных мероприятий с указанием вида ремонта и сроков его проведения на основании изменения эксплуатационного состояния дороги в течении расчетного времени.

Достоверность полученной модели подтверждается сходимостью расчётных данных с аналогами, созданными на иных физико-математических принципах и прошедшими экспериментальную проверку, а также сходимостью с данными натурных исследований.

Личный вклад соискателя ученой степени. Постановка проблемы, формулировка задач исследования, поиск теоретических и методических путей их решения, научные и практические рекомендации, их анализ, основные выводы осуществлены автором лично. Инструментальные измерения, выполнялись на базе испытательной лаборатории РУП «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» под руководством ее начальника Я. Я. Новгородского, обработка результатов выполнялась автором лично. Совместно с профессором И. И. Леоновичем была сформулирована тематика и определены направления исследований, проводилось обсуждение и выбор экспериментальных методик, анализ и интерпретация полученных результатов; обсуждение результатов расчетов и их сопоставление с экспериментальными данными, полученными в результате исследований на участках дорог различного значения. Описание алгоритма выбора ремонта с учетом климатических факторов выполнялось под руководством Д. В. Капского.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Основные положения, выносимые на защиту и выводы диссертационного исследования докладывались и обсуждались на республиканских и международных научно-технических конференциях: посвященной 25-летию образования кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» (БНТУ, 2004); «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (Белорусско-Российский университет, Могилев, 2005); конференция профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БГТУ и БНТУ (Минск, 2006,

2007); «80 лет Белорусской дорожной науке» (ГП «БелдорНИИ», Минск, 2008); «Перспективные направления проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостовых и подземных сооружений» (БНТУ, Минск, 2010); «Приоритетные направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог: качество, комфорт, безопасность» (ГП «БелдорНИИ», Минск, 2010); «Наука – образованию, производству, экономике» (БНТУ, Минск, 2011); «Автомобильные дороги – дороги в будущее» (ГП «БелдорНИИ», Минск, 2011); посвященной 50-летию ГП «БелдорНИИ» (ГП «БелдорНИИ», Минск, 2012); посвященной 90-летию Белорусской дорожной науки «Автомобильные дороги: безопасность и надежность» (ГП «БелдорНИИ», Минск, 2018); 80-я международная научно-методическая и научно-исследовательская конференция МАДИ «Техносферная безопасность» (МАДИ, Москва, 2022).

Прикладные аспекты диссертационного исследования, составляющие основу разработанной системы назначения ремонтов на автомобильных дорогах, доложены и обсуждены на заседаниях научно-технических советов РУП «Белорусский дорожный инженерно-технический центр», ГП «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт».

Разработанные методики назначения ремонтных работ на основании изменения эксплуатационных показателей прошли успешные опытно-промышленные испытания и подтвердили их высокую эффективность (приказ Департамента «Белавтодор» № 143 от 26.06.2011 и № 294 от 30.12.2011 «О внедрении результатов разработок для дорожных организации республики»).

Результаты диссертационных исследований внедрены в учебный процесс БНТУ при подготовке инженеров по специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги».

Социальная ценность диссертации состоит в повышении безопасности дорожного движения.

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертационной работы опубликована 33 научные работы общим объемом 193 страницы (7,2 а. л.), элементы исследований отражены в монографии. Основные результаты исследований представлены в 21 статье (6,3 а. л.) в журналах, которые входят в перечень рецензируемых научных журналов, рекомендованных ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, приложений. Полный объем диссертации оставляет 142 страницы, в том числе 65 рисунков, 28 таблиц. Список использованных источников содержит 171 наименование, в том числе список публикаций соискателя – 34. Объем приложений составляет 36 страниц, в том числе 6 таблиц и 15 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлено обоснование актуальности научного направления диссертационного исследования. На практике фактический срок службы не совпадает с проектным, принимаемым по расчетам, что приводит к снижению уровня безопасности и удобства движения, дополнительным материально-техническим затратам. Такая ситуация требует разработки более эффективного метода назначения ремонтов на автомобильных дорогах, в том числе на основании прогнозирования изменения эксплуатационного состояния за жизненный цикл.

В первой главе диссертации рассмотрена существующая ситуация по проблематике эксплуатации дорог, направления совершенствования проектирования и прогнозирования развития деформаций дорожных конструкций и неровностей. Множество факторов воздействия на дорожную конструкцию снижают эксплуатационную надежность автомобильной дороги: отличительные характеристики работы дорожного покрытия при высоких и низких температурах, существенное изменение структуры асфальтобетона при переходе температуры через 0 °С, интенсивное и в широком диапазоне изменение влажности грунтов, накопление неупругих деформаций.

При одновременном сочетании указанных факторов возрастает вероятность снижения прочности дорожных конструкций, преждевременного разрушения ее элементов. Это подтверждается рядом исследователей: в работах по температурному влиянию на покрытие – А. М. Кулижникова, С. В. Шестоперова, Ю. Р. Перкова, Д. Д. Баркана; в области деформативности асфальтобетона – Г. К. Сюньи, В. Н. Яромко, И. И. Леоновича, Н. В. Горельшева, В. А. Веренько, А. М. Богуславского, по изменению водно-теплого режима – А. В. Руденского, М. Я. Куделко, Э. В. Котлярского и др.

При конструировании дорожных одежд установлено, что 80–90 % расчетов устанавливают требования к показателям, которые в процессе эксплуатации дороги не измеряются: трещиностойкость связных слоев, касательные напряжения в слоях материалов, степень морозоустойчивости и водонасыщения асфальтобетона. При проведении диагностики дорог, на сетевом уровне, практическая оценка этих характеристик по информационному объему составляет 10–15 % от общих объемов поступающих данных. Их влияние учитывается путем введения обобщающих коэффициентов. Изменение конструкции дорожной одежды вследствие смешивания материалов под воздействием нагрузки и собственного веса, сопровождаемое увлажнением и заиливанием грунта, не позволяют объективно оценивать ее проектную надежность через несколько лет.

Необходимо принять комплексный показатель и метод расчета, учитывающий воздействия и деформации дорожной конструкции в течении жизненного цикла дороги. Исследованиям зависимости показателя продольной ровности дорожного покрытия и показателей эксплуатационного качества дороги посвящены работы Jay N. Meegoda, John B. Ferris, L. J. Sun.

В работах В. В. Кузьмина, Ю. В. Слободчикова, О. А. Красикова, А. В. Смирнова, С. В. Богдановича, Е. В. Каленовой, приведены исследования, подтверждающие необходимость проведения оценки состояния дорожных одежды в течении срока эксплуатации.

В процессе исследований выявлен ряд общих критериев, решение которые необходимо включить при совершенствовании системы:

1) накопление повреждений в дорожной одежде следует рассматривать как деформационное разрушение, описываемое посредством соответствующего изменения макро-свойств объема материала, сопровождающееся накоплением неровностей;

2) в процессе эксплуатации возмущение, вызванное неравномерностью профиля (неровностями), при воздействии нагрузки приводит к росту количества рассеянной энергии в материале покрытия, вызывая повреждения и разрушения в верхних слоях, характеризующиеся дефектностью (повреждаемостью);

3) надежность дорожной конструкции следует воспринимать как параметр, зависящий от интенсивности ухудшения ровности покрытия и накоплению деформаций с учетом времени эксплуатации.

Во второй главе приведены теоретические разработки модели прогнозирования изменения ровности покрытия, разработана методика расчета коэффициентов эксплуатационной надежности дорожной одежды, условия и принципы проведения расчетов для обоснования ремонтов с учетом существующих методов и систем. В Республике Беларусь измерения ровности дорожных покрытий по индексу ровности IRI выполняются с 1997 года. Ежегодно проводится обследование сети республиканских автомобильных дорог протяженностью более 15 000 км, где установлены начальные и предельные требования к ровности. Допустимый ежегодный прирост неровностей (R_H) предлагается определять для установленных требований по формуле (1):

$$R_H = \frac{(IRI_n - IRI_0)}{T_p}, \quad (1)$$

где IRI_n – нормативное значение ровности по условиям безопасности дорожного движения, м/км; IRI_0 – начальное значение ровности при вводе дороги в эксплуатацию после проведения ремонта, м/км; T_p – расчетный срок службы дорожной конструкции для заданного уровня надежности, лет.

Выдвигается гипотеза о линейности изменения ровности во времени по теоретической модели (2):

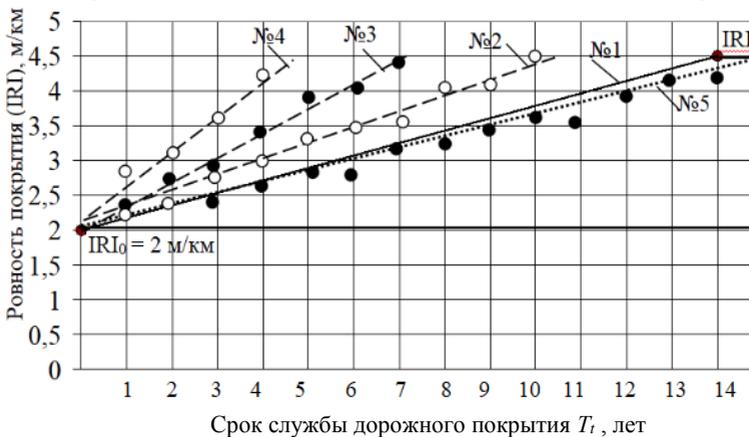
$$IRI_t = R_{\Phi} \cdot T_t + B_{\Phi}, \quad (2)$$

где IRI_t – фактическое значение ровности в расчетный год, м/км; R_{Φ} , B_{Φ} – эмпирические коэффициенты линейной регрессии, определяемые на основании расчета по методу наименьших квадратов; T_t – эксплуатационный срок службы, лет.

Коэффициент эксплуатационной надежности дорожной конструкции ($K_{н.р.}$) рассчитываем по формуле (3) и в случае его значения больше единицы эксплуатационная надежность дороги обеспечена:

$$K_{н.р.} = \frac{R_H}{R_{\Phi}} > 1. \quad (3)$$

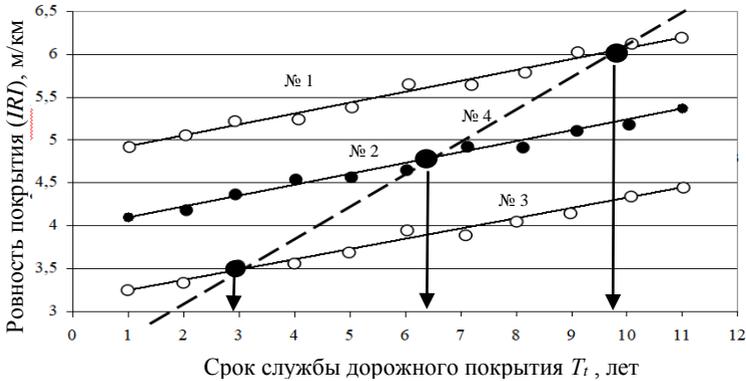
После ремонта в дорожных конструкциях прирост деформаций и неровностей происходит с различной скоростью, которая определяется приростом показателя ровности IRI за год. Чем больше деформаций формируется в слоях дорожной конструкции, тем интенсивнее ухудшается ровность и тем ниже эксплуатационный уровень надежности (рисунок 1).



1 – нормативная модель изменения ровности; **2–5** – участки дорог с различной интенсивностью ухудшения ровности (R_{Φ})

Рисунок 1 – Определение эксплуатационного уровня надежности

При близких по значению темпах ухудшения ровности, коэффициентами регрессии для разных участков дорог надежность дорожного покрытия может существенно отличаться. В течении расчетного периода на участке дороги изменение ровности может быть незначительное, но зафиксировано изменение в пределах, существенно превышающих допустимые нормативные условия (рисунок 2).



№ 1 – 3 участки дорог с равным коэффициентом регрессии и разными начальными условиями; № 4 – нормативная модель изменения ровности
Рисунок 2 – Определение эксплуатационного срока службы

Введем понятие коэффициента срока службы ($K_{H.t.}$), расчет которого проводим по формуле (4):

$$K_{H.t.} = \frac{T_n}{T_i}, \quad (4)$$

где T_n – расчетный срок службы по нормативным требованиям, лет; T_i – эксплуатационный срок службы покрытия по (5):

$$T_i = \frac{B_\Phi - B_H}{R_H - R_\Phi}, \quad (5)$$

где B_H – минимальное значение ровности принимается как начальное при приемочном контроле национальных стандартов, м/км.

Тогда окончательно коэффициент надежности (K_Φ) для эксплуатируемых дорог по формуле (6):

$$K_\Phi = K_{H.P.} \cdot K_{H.t.} \quad (6)$$

Условия назначения ремонтных мероприятий следует определять исходя из расчета частных коэффициентов эксплуатационной надежности.

В **третье** главе отражены: результаты измерений эксплуатационных параметров за периоды 8–15 лет, описан метод измерения, характеристики опытных участков, результаты регрессионного анализа.

В качестве измерительного оборудования использовалась установка «Профилограф». Подтверждение корреляционной зависимости линейной модели подтверждается на 46 опытных участках (более 250 измерений) с высоким коэффициентом корреляции $R = 0,6–0,9$ (рисунок 3).

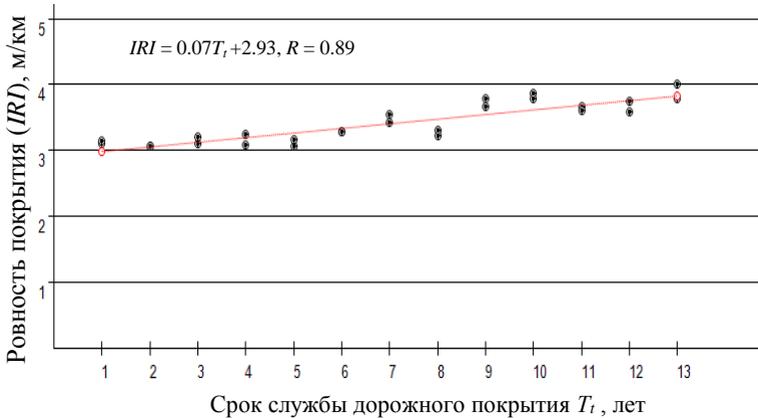


Рисунок 3 – Пример построения зависимость ровности покрытия от времени на автомобильной дороге М-6 Минск–Гродно, км 11–15, I категории

В качестве статистического метода обработки применялись: проверка нулевой гипотезы $H_0 : R = 0$, для оценки значимости коэффициента корреляции, гипотезы $H_0 : \beta_0 = 0$, фиксирующей значение наклона линии регрессии с использованием F -критерия Фишера.

При обработке данных по сети республиканских дорог методом статистического анализа установлены нормативные коэффициенты регрессии ровности по кумулятивным кривым для уровня надежности 0,8, рассчитанные для каждой категории (таблица 1).

Таблица 1 – Расчетные нормативные значения коэффициента регрессии ровности для эксплуатируемых дорог

Категория дороги	Расчетная скорость, км/ч	R_H , м/(км год)
I	120	0,05
II	120	0,08
III	100	0,11
IV	80	0,14
V	60	0,22

Получены значения прироста неровностей за год для дорог с различным типом дорожной одежды (капитальный, облегченный) по проектным условиями и типом местности по увлажнению, по установленным в республике климатическим характеристикам (таблица 2).

Таблица 2 – Расчетные нормативные значения коэффициента регрессии ровности для эксплуатируемых дорог

Интенсивность, расч. авт./сут.	Тип местности по увлажнению	Тип дорожной одежды	Коэффициент регрессии (R_n), м/(км год)
более 2000	1, 2, 3	капитальный	0,03
1500–2000	1	капитальный	0,05
	2, 3		0,08
1000–1500	1	капитальный	0,08
	2, 3		0,10
800–100	1, 2, 3	капитальный	0,12
	1	облегченный	0,08
	2		0,11
	3		0,13
400–800	1, 2, 3	капитальный	0,06
	1	облегченный	0,01
	2, 3	облегченный	0,12
200–400	1	облегченный	0,15
	2		0,18
	3		0,21

Для каждого материала, наряду с предельной прочностью, существует и своя предельная деформация, при превышении которой в слоях накапливаются необратимые деформации. Для оценки прочности дорожной конструкции по объему накопленных неровностей предложена математическая модель (7):

$$IRI_t = \frac{1}{K_{пр}} \cdot IRI_{норм} + IRI_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{K_{пр}}\right), \quad (7)$$

где IRI_t – фактическое значение ровности за расчетный срок службы, м/км; $K_{пр}$ – коэффициент прочности дорожной конструкции; IRI_0 – начальное значение ровности при вводе объекта в эксплуатацию при строительстве или после ремонта, м/км; $IRI_{норм}$ – нормативное значение ровности по условиям безопасности дорожного движения, м/км.

Применение предложенной модели позволит оценивать прочность дорожных конструкций для дорог низких категорий, местной сети, где не выполняется инструментальное измерение прочности.

Для приведения к единой количественной величине, определяющей меру повреждения, введем показатель дефектности (DP), который интегрирует дефекты дорожного покрытия по формуле (8):

$$DP = \frac{\sum_{i=1}^n S_{di} \cdot K_{wi} + \sum_{j=1}^m L_j \cdot w_j}{S_p} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где S_{di} – площадь дефекта, м²; K_{wi} – коэффициент весомости дефекта на покрытии дороги ($K_{wi} = 0,2-1,0$); i – номер дефекта по площади; n – количество дефектов по площади, шт.; L_j – протяженность линейного дефекта, м; w_j – ширина зоны распространения линейного дефекта, м; j – номер линейного дефекта; m – количество линейных дефектов, шт., S_p – площадь обследуемого покрытия, м².

В четвертой главе приводится методика назначения ремонтных мероприятий на основании разработанной теории, приводится алгоритм расчета и условия назначения ремонтных мероприятий. Расчетное фактическое значение общего коэффициента надежности (K_{Φ}) определяет: не требует проведения капитальных и текущих ремонтов при условии (9):

$$K_{\Phi} = K_{н.р.} \cdot K_{н.т.} \geq 1. \quad (9)$$

Назначение текущего ремонта при условии (10) с расчетом времени проведения ремонта $T_{рем} = T_n - T_t$:

$$0,8 \leq K_{\Phi} < 1, \quad (10)$$

где T_n – расчетный срок службы, лет; T_t – эксплуатационный срок службы покрытия по (5), лет;

Толщина выравнивающего слоя при условии ($K_{н.т.} < 1$) определяется исходя из обеспечения нормативной ровности после выполнения ремонта IRI_t по формуле (11):

$$IRI_t = B \cdot IRI_{\Phi} + C, \quad (11)$$

где IRI_{Φ} – средняя ровность покрытия на участке в текущий год, м/км; B, C – эмпирические коэффициенты (таблица 3).

Таблица 3 – Подбор толщины выравнивающего слоя при текущем ремонте

Толщина выравнивающего слоя	Значения коэффициентов	
	В	С
Выравнивающим слой 4 см	0,31	1,26
Выравнивающим слой 5 см	0,25	1,35
Выравнивающим слой 6 см	0,20	1,44
Выравнивающим слой 7 см	0,15	1,53
Выравнивающим слой 8 см	0,10	1,62

Назначение капитального ремонта дороги с фрезерованием и устройством конструктивных слоев покрытия или проведения капитального ремонта только с устройством конструктивных слоев покрытия (12):

$$0,5 \leq K_{\Phi} < 0,8. \quad (12)$$

Глубина фрезерования покрытия определяется исходя из коэффициента дефектности (K_{DP}) согласно разработанной и внедренной методике по (13):

$$K_{DP} = \frac{V_1 \cdot K_1 + V_2 \cdot K_2 + V_3 \cdot K_3}{(V_1 + V_2 + V_3)}, \quad (13)$$

где V_1 – протяженность выполненных капитальных ремонтов на участке по данным ежегодных отчетов предприятий за срок службы, км; K_1 – коэффициент надежности для участков выполненных ремонтов, принимается 1,0 для дорог I–III категорий, 0,9 – для дорог IV–V категорий; V_2 – протяженность участков, на которых ремонтные мероприятия за расчетный срок не проводились с дефектностью покрытия ($DP \leq 50\%$), км; K_2 – коэффициент надежности для эксплуатируемых участков дорог, принимается 0,8 для дорог I–III категорий, 0,7 – для дорог IV–V категорий; V_3 – протяженность участков дорог, где требуется проведение капитальных ремонтов на последний (текущий) год службы по результатам ежегодной диагностики; K_3 – коэффициент надежности для участков дорог, требующих проведения капитальных ремонтов на последний год службы, назначенных по дефектности ($DP > 50\%$ процентов), ($K_3 = 0,5$).

Глубина фрезерования верхнего слоя покрытия определяется в зависимости от расчетного коэффициента дефектности (таблица 4).

Переустройство основания при проведении капитального ремонта (реконструкции) определяется условием (14):

$$K_{H.P.} < 0,5. \quad (14)$$

Таблица 4 – Определение глубины фрезерования

Коэффициент дефектности	Глубина фрезерования покрытия, %
$0,8 < K_{DP} < 1,0$	25
$0,7 < K_{DP} < 0,8$	50
$K_{DP} < 0,7$	75

Для автомобильной дороги основными параметрами экономической оценки являются издержки транспортных средств и затраты на проведение ремонта. В качестве затрат на эксплуатацию транспортного средства в денежном выражении Европейской экономической комиссией комитета по внутреннему транспорту, Мировым банком предлагается использовать показатель *VOC* (Vehicle Operation Cost).

Исходными данными для получения расходов на эксплуатацию транспортных средств являются издержки пользователей дорог. Расходы на эксплуатацию транспортного средства рассчитываются по характерным типам автомобилей и связаны со скоростью движения транспортного потока, зависящей в свою очередь от ровности и сцепных качеств покрытий, ширины проезжей части и ряда других параметров по формуле (15):

$$VOC_{ij} = (a_i + b_i IRI_j + c_i IRI_j^2) \times l_j, \quad (15)$$

где VOC_{ij} – финансовые затраты на эксплуатацию одного транспортного средства i -й группы при проезде по участку длиной l_j км, руб.; a_i , b_i , c_i – коэффициенты для транспортного средства группы i , определяются с использованием компьютерной программы HDM-VOC по методике, разработанной Мировым банком; IRI_j – ровность покрытия на участке, м/км.

Экономический эффект от внедрения предложенной системы назначения ремонтов рассматривается как снижение общетранспортных затрат (b) для стратегии по существующей системе и для предложенной в работе методике (16):

$$b = VOC - OTЗ, \text{ тыс. руб.}, \quad (16)$$

где VOC – общие транспортные затраты потока автомобилей, тыс. руб.; $OTЗ$ – затраты на проведение ремонтных работ по выбранной стратегии, тыс. руб.

На основании проведенных исследований подтверждена экономическая эффективность ремонтных мероприятий для стратегии 1 по разработанной методике снижение затрат составит 4160 тыс. руб.; для стратегии 2 по существующей системе 1253 тыс. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации. Проведенные исследования показали, что особенности водно-теплового режима дорожных одежд, режимов движения транспортных средств, проектирования и методов диагностики в комплексе оказывают существенное влияние на результаты и качество оценки эксплуатационного состояния дорог. В процессе исследований выявлен ряд общих вопросов, определяющих причины снижения надежности и работоспособности дорожных одежд, для решения которых было необходимо разработать дополнительные методики расчета и дополнительные критерии оценки состояния покрытий, включающие [1–4, 24, 26–28]:

1) оценку состояния дорожных одежд, которая определяется по объемам зафиксированных разрушений, на стадии завершения накопления деформаций, а не в динамике их развития;

2) в результате значительные объемы ремонтных мероприятий на основании зафиксированных дефектов не системно обоснованы и требуют принятия решения о назначении первоочередных ремонтов;

3) принимаемые решения по усилению дорожных одежд без достаточного обоснования нуждаются в доработке с позиции восстановления ровности покрытий до нормативных безопасных значений;

4) при назначении текущего ремонта на дорогах общего пользования отсутствуют критерии обоснованной замены капитального ремонта тонкослойными покрытиями в качестве поддерживающей стратегии.

В работе основным критерием надежности дорожных конструкции определен коэффициент эксплуатационной надежности, расчет которого базируется на интенсивности изменения ровности покрытия во времени и с учетом предельно допустимых ее значений по условиям безопасности движения [20, 32–34]: с увеличением скорости движения увеличивается силовое воздействие и ускоряется износ элементарной площадки покрытия, за счет того, что в каждой точке покрытия возникают знакопеременные напряжения вызывающие усталостные разрушения, а накопленные деформации отражаются в виде возникающих и увеличивающихся неровностей.

На основании динамики изменения ровности покрытия, расчетной скорости движения, срока службы и интенсивности эксплуатации разработаны количественные критерии оценки фактической надежности дорожной одежд [6–8, 15, 19]: 1) коэффициент эксплуатационной надежности покрытия ($K_{н.р.}$); 2) коэффициент срока службы покрытия ($K_{н.л.}$); 3) эксплуатационный срок службы покрытия T_l . При переработке диссертационной работы внесены дополнения [5,9–11,14]: коэффициент прочности по величине формирующихся неровностей, а также коэффициент дефектности покрытия

(K_{DP}) для расчета глубины фрезерования при ремонте (в процентах от глубины повреждения).

Проведенные практические исследования подтверждают гипотезу о развитии неровностей вследствие разрушения слоя асфальтобетонного покрытия в наиболее ослабленных точках. По результатам измерения ровности покрытия за эксплуатационный срок службы 8–15 лет установлена и подтверждена методами математической статистики линейная модель изменения ровности покрытия во времени при проведении более 250 измерений [12, 13, 16–18].

Разработан алгоритм оценки эксплуатационного состояния автомобильных дорог и назначения ремонтных мероприятий на сети дорог общего пользования. Разработана методика расчета выравнивающего слоя и глубины фрезерования с учетом значений комплексного показателя. При переработке работы дополнительно установлены нормативные требования к ежегодному приросту неровностей для различных климатических условий, дорожных одежд, интенсивности движения транспортного потока [30, 31].

Рекомендации по практическому использованию результатов. В основу принятия решений по практическому применению следует принять анализ состояния дорожных одежд во временном факторе в течение срока службы. На основании результатов расчета фактического коэффициента надежности определены участки дорог для первоочередного ремонта, участков где неровности и деформации дорожной конструкции накапливаются менее интенсивно. Алгоритм расчета предлагается внедрить в развитие существующей системы назначения ремонтных мероприятий. Методика назначения ремонтных мероприятий позволяет выполнять оценку прочностных характеристик для назначения усиления и/или переустройства дорожной одежды, возможность прогнозирования и распределения выделяемых средств. Окончательных решением после проведения расчетов по предложенной методике являются [21, 22, 23, 25]: 1) назначение ремонтных мероприятий по результатам динамики изменения ровности покрытия и достижения предельных значений на рассматриваемом участке; 2) выбор участков дорог, требующих проведения первоочередных ремонтов; 3) расчет оптимальных сроков выполнения ремонтных мероприятий с расчетом толщины выравнивающего слоя; 4) обоснование проведения и расчета глубины фрезерования покрытия.

Результаты диссертационной работы частично реализованы: в действующих нормативных документах Республики Беларусь и Республики Казахстан, в учебном процессе БНТУ в лекционном курсе учебной специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги», при выполнении работ по диагностике автомобильных дорог.



СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Монография

1. Капский, Д. В. Методология оценки воздействия изменения климата, уязвимости и климатических рисков в транспортной системе Республики Беларусь / Д. В. Капский, С. В. Богданович, Ю. В. Буртыль. – Минск : БНТУ, 2022. – 256 с.

Статьи в рецензируемых научных изданиях

2. Буртыль, Ю. В. Напряжения и деформации дорожных одежд под воздействием транспортных нагрузок / Ю. В. Буртыль // Вестник БНТУ. – 2005. – № 5. – С. 24–27.

3. Буртыль, Ю. В. Применение современных методов диагностики при оценке прочностных характеристик нежестких дорожных одежд / Ю. В. Буртыль // Лесная и деревообаб. пром-сть // науч. тр. / Белор. гос. технолог. ун-т ; под ред. И. М. Жарского. – Минск, 2006. – Вып. XIV. – С. 100–102.

4. Буртыль, Ю. В. Влияние колеяности на изменение ровности покрытий автомобильных дорог / Ю. В. Буртыль // Лесная и деревообрабатывающая промышленность : науч. тр. / Белор. гос. технолог. ун-т ; под ред. И. М. Жарского. – Минск, 2007. – Вып. XIV – С. 150–153.

5. Леонович, И. И. Транспортно-эксплуатационное состояние сети республиканских автомобильных дорог и основные направления повышения их качества / И. И. Леонович, Ю. В. Буртыль, Я. Я. Новгородский // Вестник БНТУ. – 2008. – № 6. – С. 56–63.

6. Буртыль, Ю. В. Повышение межремонтных сроков службы дорожных одежд путем создания систем управления транспортными потоками / Ю. В. Буртыль, И. И. Леонович // Автомобильные дороги и мосты. – 2009. – № 2. – С. 109–114.

7. Буртыль, Ю. В. Системы управления транспортными потоками и перспективы их дальнейшего развития / Ю. В. Буртыль, И. И. Леонович // Новые материалы и технологии для проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог СНГ : сб. науч. докл. / Моск. автом.-дор. гос. техн. ун-т ; редкол.: Б. Б. Каримов [и др.]. – М., 2009. – Ч. 1. – С. 65–74.

8. Буртыль, Ю. В. Причины и следствия снижения работоспособности дорожных одежд в период их межремонтных сроков / Ю. В. Буртыль, И. И. Леонович // Строительная наука и техника. – 2009. – № 5. – С. 24–31.

9. Буртыль, Ю. В. Совершенствование методов оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог / Ю. В. Буртыль, И. И. Леонович // Автомобильные дороги и мосты. – 2010.–№ 1.–С.94–104.

10. Буртыль, Ю. В. Совершенствование системы назначения ремонтных мероприятий на республиканских автомобильных дорогах / Ю. В. Буртыль, И. И. Леонович // Автомобильные дороги и мосты. – 2010. – № 2. – С. 138–148.

11. Буртыль, Ю. В. Взаимозависимость ровности покрытия и прочности дорожной одежды / Ю. В. Буртыль, И. И. Леонович // Строительная наука и техника. – 2011. – № 1. – С. 76–80.

12. Буртыль, Ю. В. Критерии эксплуатационной надежности автомобильных дорог с жесткими дорожными одеждami / Ю. В. Буртыль // Автомобильные дороги и мосты. – 2012. – № 2. – С. 21–31.

13. Буртыль, Ю. В. Прогнозирование неровности дорожного покрытия – залог безопасности дорожного движения / Ю. В. Буртыль // Дороги содружества независимых государств. – 2014. – № 5 (40). – С. 73–77.

14. Буртыль, Ю. В. Исследование и анализ изменения ровности асфальтобетонных покрытий автомобильных дорог / Ю. В. Буртыль // Автомобильные дороги и мосты. – 2017. – № 1 (19). – С. 20–27.

15. Буртыль, Ю. В. Практические исследования динамики изменения ровности покрытий автомобильных дорог / Ю. В. Буртыль // Мир дорог. – 2018. – № 105. – С. 60–61.

16. Буртыль, Ю. В. Автоматизированные системы проектирования дорожных одежд и особенности их использования в современных условиях / Ю. В. Буртыль // Автомобильные дороги и мосты. – 2019. – № 2. – С. 7–15.

17. Буртыль, Ю. В. Практика геолокационного исследования в Республике Казахстан / Ю. В. Буртыль // Вестник ВКТУ. – 2020. – № 4. – С. 26–33.

18. Буртыль, Ю. В. Исследование измерения ровности дорожных покрытий / Ю. В. Буртыль // Наука и техника Казахстана. – 2020. – № 4. – С. 64–70.

19. Буртыль, Ю. В. Теоретические основы взаимосвязи ровности покрытия и прочности жестких дорожных одежд / Ю. В. Буртыль // Промышленный транспорт Казахстана. – 2020. – № 4. – С. 48–55.

20. Буртыль, Ю. В. Исследования изменения ровности дорожных покрытий / Ю. В. Буртыль // Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей. – 2020. – № 4 (92). – С. 145–149.

21. Буртыль, Ю. В. Исследование изменения ровности дорожных покрытий и расчет толщины выравнивающих слоев / Ю. В. Буртыль // Промышленный транспорт Казахстана. – 2020. – № 4. – С. 166–172.

22. Буртыль, Ю. В. Прогнозирование ровности дорожных покрытий / Ю. В. Буртыль, М. Г. Солодкая, Я. Н. Ковалев // Наука и техника. – 2021. – № 3. – С. 216–223.

23. Буртыль, Ю. В. Моделирование взаимосвязи ровности и прочности жестких дорожных одежд на основании теоретическо-практических исследований / Ю. В. Буртыль, Д. В. Капский // Вестник СибАДИ. – 2022. – № 4, Т. 19. – С. 570–583.

Материалы конференций

24. Буртыль, Ю. В. Показатель ровности асфальтобетонного покрытия, как косвенная характеристика его прочности / Ю. В. Буртыль // Прогрессивные технологии, технологические процессы и оборудование : материалы междунар. научно-техн. конф., Могилев, 15–16 мая 2003 г. : в 2 ч. / Бел.-Рос. ун-т; редкол.; И. С. Сазонов (гл.ред.) [и др.]. – Могилев, 2003. – Ч. 2. – С. 242–244.

25. Буртыль, Ю. В. Оценка сроков службы дорожных одежд на основании результатов диагностики / Ю. В. Буртыль // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев 24–25 янв 2007 г. : в 3 ч. / Бел.-Рос. ун-т ; редкол.: И. С. Сазонов (гл.ред.) [и др.]. – Могилев, 2007. – Ч. 2. – С. 80–81.

26. Буртыль, Ю. В. Особенности оценки транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог / Ю. В. Буртыль // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 8-й междунар. научно-техн. конф., Минск, 2010 г. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т. ; редкол.: Б. М. Хрусталева [и др.]. – Минск, 2010. – Т. 3. – С. 41.

27. Буртыль, Ю. В. Изучение вопросов сопоставимости теоретических и эмпирических методов оценки прочности дорожных одежд при проведении диагностики автомобильных дорог / Ю. В. Буртыль, И. И. Леонович // Приоритетные направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог : качество, комфорт, безопасность : материалы респуб. науч.-практ. конф., Минск 25 ноября 2010 г. / Бел. дор. науч.-исслед. ин-т ; редкол.: Ю. С. Масюк [и др.]. – Минск, 2010. – С. 84–89.

28. Буртыль, Ю. В. Предпосылки совершенствования систем управления транспортно-эксплуатационным состоянием автомобильных дорог Республики Беларусь / Ю. В. Буртыль // Совершенствование научно-методической работы кафедр дорожно-строительного профиля высших учебных заведений : материалы междунар. научно-техн. конф., Минск, 26 мая 2011 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. ; редкол. С. Е. Кравченко [и др.]. – Минск, 2011. – С. 21–24.

29. Буртыль, Ю. В. Разработка комплексной системы оценки работоспособности автомобильных дорог / Ю. В. Буртыль // Автомобильные дороги – дороги в будущее : материалы респуб. научно-техн. конф., Минск, 10 марта 2011 г. / Бел. дор. научн.-исслед. ин-т; редкол.; В. К. Шумчик [и др.]. – Минск, 2011. – С. 10–14.

30. Буртыль, Ю. В. Теоретические основы обоснования надежности дорожных одежд / Ю. В. Буртыль // Современные тенденции и направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений : материалы научно-техн. конф., Минск 25–26 окт. 2012 г. / Бел.

дор. научн.-исслед. ин-т ; редкол. : В. К. Шумчик [и др.]. – Минск, 2012. – С. 36–41.

31. Буртыль, Ю. В. Практические исследования транспортного средства на дорожную одежду / Ю. В. Буртыль // Экологически безопасные дороги : материалы междунар. науч.-практ. конф., Брест, 26 августа 2013 г. / Межправ. совет дорожников; редкол.: Б. Б. Каримов [и др.]. – Брест, 2013. – С. 37–43.

32. Буртыль, Ю. В. Влияние пластических деформаций дорожных одежд на условия эксплуатации автомобильных дорог / Ю. В. Буртыль // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 12-й междунар. научно-техн. конф. : в 4 т. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: Б. М. Хрусталева, Ф. А. Романюк, А. С. Калиниченко. – Минск : БНТУ, 2014. – Т. 3. – С. 144.

33. Буртыль, Ю. В. Автоматизированные системы проектирования дорожных одежд и особенности их использования в современных условиях / Ю. В. Буртыль // Автомобильные дороги: безопасность и надежность : материалы междунар. юбилейной науч.-техн. конф. : в 2 ч., Минск, 22–23 ноября 2018 г. // Белорус. дор. научн.-исслед. ин-т; редкол. : В. К. Шумчик [и др.]. – Минск, 2018. – Ч. 2. – С. 14–27.

34. Капский, Д. В. Определение подходов к анализу чувствительности транспортной отрасли к изменениям климата / Д. В. Капский, С. В. Богданович, Ю. В. Буртыль // Проблемы безопасности на транспорте : материалы XI международной научно-практической конф., Гомель, 25–26 ноября 2021 г. : в 2 ч. // Белорус. гос. ун-т транспорта; редкол. : Т. В. Белова [и др.]. – Гомель, 2021. – С. 24–26.

РЭЗЮМЕ

Буртыль Юрый Валер'евіч

Комплексны паказчык пры выбары віду рамонту аўтамабільных дарог на падставе дынамікі змены іх эксплуатацыйнага стану

Ключавыя словы: роўнасць дарожных пакрыццяў, каэфіцыент надзейнасці дарожных канструкцый, дэфектнасць пакрыцця, тэрмін службы дарожнага адзення.

Аб'ект даследавання – асфальтабетонныя пакрыцця, канструкцыі дарожных адзенняў аўтамабільных дарог.

Прадмет даследавання – дынаміка змены роўнасці пакрыццяў і дэфектнасці дарожных адзенняў на аўтамабільных дарогах з асфальтабетонным пакрыццём за ўсталяваны тэрмін службы.

Мэта работы – распрацоўка сістэмы прызначэння рамонтаў на аўтамабільных дарогах на падставе дынамікі змены эксплуатацыйнага стану.

Метады даследавання і апаратура. Эксперыменты па даследаванні ўздзеяння транспартных сродкаў на асфальтабетоннае пакрыццё праводзіліся з выкарыстаннем: лабараторыі па вымярэнні роўнасці пакрыццяў профіламетрычным метадам «Профилограф», дефлектометра падальнага грузу FWD PRI 2100. Пабудова мадэлі змены роўнасці пакрыцця ў часе, матэматычныя разлікі і статыстычная апрацоўка эксперыментальных дадзеных праводзіліся з выкарыстаннем вылічальнай тэхнікі і сучасных CAD-праграм.

Навуковая навізна атрыманых вынікаў. Прапанаваны новы падыход да ацэнкі фактычнай надзейнасці канструкцый дарожных канструкцый на падставе прыватных каэфіцыентаў надзейнасці на стадыі эксплуатацыі і дыягностыкі аўтамабільных дарог, што дазваляе аптымальна прызначаць рамонтныя участкі дарог з найбольшай колькасцю назапашаных пластычных дэфармацый. Распрацавана і эксперыментальна пацверджана мадэль змены роўнасці пакрыццяў ў часе.

З выкарыстаннем распрацаванай метадыкі прапануецца абгрунтавана замяняць капітальны рамонт дарог бягучых пры абмежаваным фінансаванні.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Разлік фактычнага каэфіцыента надзейнасці дазволіць аптымальна прызначаць і своечасова планаваць рамонтныя мерапрыемствы на аўтамабільных дарогах.

Вобласць прымянення. Пры правядзенні дыягностыкі і абследавання дарожных адзенняў няцвёрдыя тыпу для абгрунтавання і прызначэння інжынерна-праектных рашэнняў пры распрацоўцы праектаў капітальнага і бягучага рамонтаў аўтамабільных дарог агульнага карыстання.

РЕЗЮМЕ

Буртыль Юрий Валерьевич

Комплексный показатель при выборе вида ремонта автомобильных дорог на основании динамики изменения их эксплуатационного состояния

Ключевые слова: ровность дорожных покрытий, коэффициент надежности дорожных одежд, повреждаемость (дефектность) покрытия, срок службы дорожной одежды.

Объект исследования – асфальтобетонные покрытия, конструкции дорожных одежд автомобильных дорог.

Предмет исследования – динамика изменения ровности покрытий и дефектности дорожных одежд на автомобильных дорогах с асфальтобетонным покрытием за срок службы.

Цель работы – разработка системы назначения ремонтов на автомобильных дорогах на основании динамики изменения эксплуатационного состояния.

Методы исследований и аппаратура. Эксперименты по исследованию воздействия транспортных средств на асфальтобетонное покрытие проводились с использованием: лаборатории по измерению ровности покрытий профилометрическим методом «Профилограф», дефлектометра падающего груза FWD PRI 2100. Построение модели изменения ровности покрытия во времени, математические расчеты и статистическая обработка экспериментальных данных проводились с использованием вычислительной техники и современных CAD-программ.

Научная новизна полученных результатов. Предложен новый подход к оценке фактической надежности конструкций дорожных одежд на основании частных коэффициентов надежности на стадии эксплуатации и диагностики автомобильных дорог, что позволяет оптимально назначать ремонты на участках дорог с наибольшим количеством накопленных пластических деформаций. Разработана и экспериментально подтверждена модель изменения ровности покрытий во времени. С использованием разработанной методики предлагается обоснованно заменять капитальный ремонт дорог текущим при ограниченном финансировании.

Рекомендации к применению: Расчет коэффициента эксплуатационной надежности позволит оптимально назначать и своевременно планировать ремонтные мероприятия на автомобильных дорогах.

Область применения. При проведении диагностики и обследования дорожных одежд нежесткого типа для обоснования и назначения инженерно-проектных решений при разработке проектов капитального и текущего ремонтов автомобильных дорог общего пользования.

SUMMARY

Burtyl Yurii Valerievich

Complex indicator when choosing the type of road repair based on the dynamics of changes in their operational condition

Key words: pavement smoothness, pavement reliability index, damaging (defectiveness) of pavement, service life of pavement.

The object of research – asphalt concrete pavement, constructions of road layers.

The subject of research – dynamics of change in pavement smoothness and in road pavement defectiveness on asphalt concrete coated roads during the specified service life.

The goal of dissertation – development of the destination repairs system on the roads based on the change dynamics of operational status.

Methods of research and equipment. Experiments of studying the impact of vehicles on the asphalt concrete pavement were carried out using: measuring laboratory of smoothness using profilometric method "Profilograph", a drop weight deflectometer FWD PRI 2100. The construction of the model that shows changes in pavement smoothness during time, mathematical calculations and statistical processing of experimental data were analyzed using computer technology and modern CAD-programs.

Scientific innovation of findings. A new approach to the assessment of the actual reliability of pavement structures based on partial reliability coefficients in the operation stage and diagnosis of roads was achieved, which allows to assign repairs on road sections with the highest amount of accumulated plastic deformations. Developed and experimentally verified the model that shows changes in pavement smoothness during time.

The dissertation offers using the developed technique reasonable replacement the major repair of roads with limited financing for current repair.

Use recommendation. The calculating of the actual reliability index will allow to optimally assign and timely planning the repairment measures on roads.

Field of application. While the diagnosis and survey of non-rigid type pavement to justify and purpose engineering and design solutions during the project development for major and current public roads repair.

Научное издание

БУРТЫЛЬ Юрий Валерьевич

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ПРИ ВЫБОРЕ ВИДА РЕМОНТА
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВАНИИ ДИНАМИКИ
ИЗМЕНЕНИЯ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.11 – проектирование и строительство дорог,
метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей

Подписано в печать 31.01.2023. формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Цифровая печать.
Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,31. Тираж 80. Заказ 55.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65, 220013, г. Минск.