

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 625.7/.8.001.5

**БУРТЫЛЬ**  
**Юрий Валерьевич**

**ОБОСНОВАНИЕ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТОВ 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,  
аэродромов, метрополитенов, мостов и транспортных тоннелей

Минск 2013

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

**Научный руководитель**

**Леонович Иван Иосифович**

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

**Официальные оппоненты:**

**Веренько Владимир Адольфович**

доктор технических наук, профессор,  
Белорусский национальный технический университет, кафедра «Проектирование дорог»;

**Нестерович Игорь Васильевич**

кандидат технических наук,  
учреждение образования «Государственный учебный центр подготовки, переподготовки и повышения квалификации кадров «Белдорстрой»

**Оппонирующая организация**

Государственное предприятие «Белорусский дорожный научно – исследовательский институт»

Защита диссертации состоится 15 октября 2013 г. в 14.00 часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.05 при «Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220113, г. Минск, пр. Независимости, 65. Телефон ученого секретаря – 8 (017) 265 95 87. E-mail: sawa1950@mail.ru

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, следует направлять на имя ученого секретаря по адресу: 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65, Белорусский национальный технический университет.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «10» октября 2013 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций,  
канд. хим. наук, доцент



П.И. Юхневский

## ВВЕДЕНИЕ

За последние 10-15 лет количество автомобилей в Республике Беларусь возросло более чем в 3 раза, и при таком интенсивном развитии транспорта в ближайшее время автомобильный парк страны достигнет примерно 3-3,5 миллионов автомобилей. Значительно увеличились объемы тяжеловесных перевозок, осуществляемых иностранными перевозчиками в международном сообщении. Увеличение силового и усталостного воздействия транспорта на дорожные конструкции не может не сказаться на состоянии автомобильных дорог и потребности в ремонтно-восстановительных мероприятиях.

Потребность в проведении капитальных ремонтов, назначаемых на автодорогах общего пользования, в настоящий момент превышает планируемые расходы – выделяемые средства в среднем в 2-3 раза. Назначаемые ремонты направлены в основном на устранение значительных объемов дефектов покрытия, определяемых визуально. В этом случае устранение повреждений и разрушений элементов дороги проводится уже на стадии завершения формирования деформаций материалов, что является запоздалым, а иногда малоэффективным и дорогостоящим решением.

В условиях ограниченного финансирования, при назначении ремонтно-восстановительных работ, возникает необходимость в четко сформулированной и обоснованной системе назначения ремонтных мероприятий. В настоящее время, проведение текущих ремонтов покрытий рассматривается в качестве поддерживающей стратегии там, где необходимо выполнение капитального ремонта или переустройства конструктивных слоев. Существующая практика выполнения текущего ремонта в качестве поддерживающей стратегии требует рационального обоснования с приведением количественных показателей.

Для принятия решения о выборе участка дороги, назначаемого в ремонт, недостаточно полагаться только на фактические данные - результаты измерений. Наиболее объективной информацией по автодороге в целом будет являться информация о состоянии дорожных одежд во временном факторе: изменение параметров до момента обследования, фактические результаты диагностики и перспективное изменение эксплуатационного состояния дороги. Возникает необходимость в проведении оценки параметров дорожной одежды и покрытия, наиболее существенно влияющих на безопасность и удобство движения транспортных средств, не только с точки зрения соответствия стандартам, но и с точки зрения интенсивности ухудшения каждого параметра за срок службы.

Количественным показателем в этом случае может служить интегральный показатель, значение которого характеризует момент наступления этапов проведения текущих, капитальных ремонтов или переустройства слоев основания.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами.**

Исследования, включенные в диссертационную работу, получены при выполнении научно-исследовательской темы «Исследование влияния современных транспортных нагрузок на асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог» согласно договору от 12.01.04 № 12/04 РУП «Белдорцентр» с Департаментом «Белавтодор».

Работа выполнялась по заданию Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, Департамента «Белавтодор» при разработке:

- дорожно-методического документа «Диагностика автомобильных дорог на проектном уровне» ДМД 02191.5.010 согласно договору от 20.01.2010 № 28/10 с Департаментом «Белавтодор» (в качестве руководителя разработки);
- дорожно-методического документа «Методические рекомендации по определению параметров эксплуатационного состояния автомобильных дорог в зависимости от их сроков службы» ДМД 02191.5.011 согласно договору от 20.01.2011 № 28/11 с Департаментом «Белавтодор» (в качестве разработчика);
- методики технико-экономического обоснования введения ограничения движения на сети дорог общего пользования согласно договору от 18.01.2002 № 10/02 с Департаментом «Белавтодор».

На основании проведенных в работе исследований, в рамках выполняемых работ при реализации государственных программ, в РУП «Белдорцентр» разработано и внедрено рационализаторское предложение от 12.05.04 № 73 «Определение расчетного модуля упругости конструкций дорожных одежд нежесткого типа по международному индексу ровности покрытия (IRI)».

**Цель и задачи исследования.** Целью работы является разработка системы назначения ремонтов на автомобильных дорогах на основании динамики изменения эксплуатационного состояния.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- разработка и подтверждение модели изменения ровности покрытия для эксплуатируемых и вновь вводимых в эксплуатацию участков дорог в течение срока службы;
- проведение практических исследований, подтверждающих влияние транспортной нагрузки на изменение ровности покрытия и направленных на практическое подтверждение разработанной модели;
- разработка методики расчета коэффициента надежности дорожной одежды на основании произведения частных коэффициентов: коэффициента надежности покрытия и коэффициента срока службы дорожной одежды как качественных показателей надежности автомобильных дорог общего пользования;
- разработка методики назначения ремонтных мероприятий на основании расчетного коэффициента надежности с обоснованием расчета толщины

выравнивающего слоя и глубины фрезерования дорожной одежды при выборе ремонтов.

Объект исследования – автомобильные дороги общего пользования, нежесткие дорожные одежды. Выбор обоснован необходимостью совершенствования назначения ремонтных мероприятий и прогнозирования эксплуатационного состояния дорог.

Предмет исследования – ровность асфальтобетонных покрытий, при оценке динамики ее изменения в течение срока службы. Выбор обоснован необходимостью оценки фактической надежности дорожной одежды с учетом формирования пластических и остаточных деформаций за срок службы, величина которых характеризуется показателем ровности покрытия.

**Положения, выносимые на защиту.** На защиту выносятся следующие положения:

1. Аналитическая зависимость изменения ровности покрытия в течение срока службы, позволяющая прогнозировать формирование критических и накопления пластических деформаций в конструкции дорожной одежды.

2. Методика расчета коэффициента надежности дорожной одежды, позволяющая обоснованно принимать решение о выборе участков автомобильных дорог, требующих проведения первоочередных ремонтных мероприятий, а также в случае ограниченного финансирования обоснованной замене капитального ремонта текущим ремонтом. Преимущество и новизна разработанной методики заключается в своевременном предупреждении развития критических дефектов и подтверждения необходимости проведения капитального ремонта.

3. Методика расчета толщины выравнивающего слоя и глубины фрезерования при назначении ремонтных мероприятий на автомобильных дорогах в зависимости от прогнозируемого изменения ровности покрытия, позволяющая снизить динамическое влияние транспортной нагрузки и обеспечить безопасное и комфортное движение. Преимущество разработанной методики заключается в оптимальном выборе толщины выравнивающего слоя, обеспечивающего безопасную ровность покрытия в течение срока службы и определении глубины фрезерования в зависимости от повреждаемости покрытия.

**Личный вклад соискателя.** Автор диссертации непосредственно принимал участие в постановке цели и задач исследования, проведении экспериментальных исследований, получении теоретических выкладок, обработке и анализе полученных результатов. Все основные результаты исследований и испытаний, проводимые в диссертационной работе, получены автором лично. В публикациях с соавторами вклад соискателя определяется излагаемыми в диссертации результатами.

**Апробация результатов диссертации.** Основные положения, выносимые на защиту и выводы диссертационного исследования докладывались и обсуждались на 10 республиканских и международных научно-технических конференциях из них 9 в

г. Минске и 1 в г. Могилеве: республиканская научно-методическая конференция, посвященная 25-летию образования кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» (БНТУ, Минск, 2004 г.); международная научно-техническая конференция «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (Белорусско-Российский университет, Могилев, 2005 г.); международная научно-техническая конференция профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БГТУ (БГТУ, Минск, 2006 г.); международная научно-техническая конференция профессоров, преподавателей, научных работников и аспирантов БНТУ (БНТУ, Минск, 2007 г.); юбилейная научно-техническая конференция «80 лет Белорусской дорожной науке» (ГП «БелдорНИИ», Минск, 2008 г.); 8-я международная конференция «Перспективные направления проектирования, строительства и эксплуатации дорог, мостовых и подземных сооружений» (БНТУ, Минск, 2010 г.); республиканская научно-практическая конференция «Приоритетные направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог: качество, комфорт, безопасность» (ГП «БелдорНИИ», Минск, 2010 г.); 9-я международная научно-техническая конференция «Наука - образованию, производству, экономике» (БНТУ, Минск, 2011 г.); республиканская научно-техническая конференция аспирантов, магистрантов и студентов «Автомобильные дороги – дороги в будущее» (ГП «БелдорНИИ», Минск, 2011 г.); международная научно-техническая конференция посвященная 50-летию ГП «БелдорНИИ» (ГП «БелдорНИИ», Минск, 2012 г.).

Прикладные аспекты диссертационного исследования, составляющие основу разработанной системы назначения ремонтов на автомобильных дорогах, доложены и обсуждены на заседаниях кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» (протокол № 6 от 21.11.2005, протокол № 5 от 20.11.2006, протокол № 14 от 04.06.2007, протокол № 9 от 01.12.2008, протокол № 4 от 21.12.2009) БНТУ, научно-технического совета РУП «Белорусский дорожный инженерно-технический центр» (протокол № 10 от 13.12.2012). Изложенное выше подтверждает широкую апробацию результатов исследований, представленных в диссертации.

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

Результаты диссертационных исследований внедрены в учебный процесс БНТУ при подготовке инженеров по специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» (акт внедрения от 22.01.2013).

Использование результатов исследований при выполнении научных работ в производстве и в учебном процессе подтверждает научную и практическую значимость диссертации. Социальная ценность диссертации состоит в повышении безопасности движения транспортных средств.

**Опубликованность результатов.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 19 работах, общим объемом 96 страницы. В том числе: в тезисах докладов – 1, материалах конференций – 8, в сборниках научных трудов – 2, в научных журналах – 8. Без соавторов опубликовано 10 работ объемом 34 страницы. Общее число опубликованных работ в изданиях, рекомендованных ВАК – 9.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка, приложений. Полный объем диссертации оставляет 138 страниц, в том числе 65 рисунков, 28 таблиц. Список использованных источников содержит 183 наименования, в том числе список публикаций соискателя – 19. Объем приложений составляет 25 страниц, в том числе 6 таблиц и 15 рисунков.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлено общее направление исследований и обоснована актуальность темы. Показана необходимость разработки критериев оценки надежности дорожных одежд при назначении ремонтных мероприятий.

**В первой главе** проведенные аналитические исследования показали, что особенности водно-теплового режима дорожных одежд и режимов движения транспортных средств оказывают существенное влияние на работоспособность автомобильных дорог. При одновременном сочетании указанных факторов возрастает вероятность снижения прочности дорожных одежд и возможность преждевременного разрушения ее элементов. Это подтверждается в работах А.М. Кулижникова, С.В. Шестоперова, Ю.Р. Перкова, Д.Д. Баркана, где установлено, что запроектированная дорожная одежда работает наиболее эффективно только в 55 % годового времени, в период температур 0-20 °С. Ежегодное количество циклов замораживания и оттаивания (70-80 шт./год) снижает прочность асфальтобетона за 6-8 лет в среднем на 20-25 %. Изменение конструкции дорожной одежды вследствие сегрегации (смешивания) материалов под воздействием нагрузки и собственного веса, сопровождаемое увлажнением и заиливанием грунта, не позволяют объективно оценивать ее несущую способность.

Проведенные в области деформативности асфальтобетона исследования Г.К. Сюньи, Н.В. Горельшева, Я.Н. Ковалева, А.М. Богуславского показывают, что деформативность асфальтобетона при низких температурах противоположно требованиям к асфальтобетону при высоких температурах. Рассматривая асфальтобетон как единое сплошное упругое тело с повышенными характеристиками хрупкости при температуре воздуха -20 °С мы определяем минимальную вероятности разрушений от вертикальных и горизонтальных напряжений при температуре 35 °С.

На основании данных А.В. Руденского, М.Я. Куделко, Ю.Г. Бабаскина, А.А. Куприянчика подтверждены особенности водно-теплового режима грунтов и

материалов конструкций, когда влажность в слоях основания и температура в покрытии может значительно колебаться, тем самым существенно изменяя прочностные свойства материалов даже в течении суток.

Проводя анализ общих принципов конструирования дорожных одежд установлено, что 80-90 % расчетов устанавливают требования к таким прочностным показателям как общий модуль упругости, 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 [1,2].

Проведенные рядом научных коллективов научно-практические изыскания подтверждают общие закономерности зависимости ровности покрытий от прочности и надежности дорожных одежд. Существующие математические модели имеют различные концептуальные решения, что приводит к несовершенству единой системы оценки эксплуатационного состояния дорог. В процессе исследований выявлен ряд общих критериев, решение которые необходимо включить при совершенствовании системы :

1) накопление повреждений в дорожной одежде, следует рассматривать как деформационное разупрочнение, 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) работоспособность и надежность дорожной одежды непосредственно следует воспринимать как параметры, зависящие от динамики изменения ровности покрытия и дефектности (повреждаемости) дорожной одежды с учетом сроков службы;

Предполагается принимать обоснованные решения по выбору наиболее проблемных участков дорог на основании анализа предыдущих измерений ровности покрытий, как качественной характеристики накопления остаточных деформаций, с учетом процессов протекающих в конструкции.

**Во второй главе** приведены теоретические разработки модели прогнозирования изменения ровности покрытия, разработана методика расчета фактического коэффициента надежности дорожной одежды, условия и принципы проведения расчетов с учетом существующих методов и систем.

При стабильной работе уплотненных слоев покрытия и основания формирование неровностей к концу расчетного срока должно происходить в

установленных уровнем надежности пределах. Значение коэффициента надежности в течении всего срока службы должно соответствовать условию

$$K_{н.р.} = \frac{\sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\text{дон}}(i)}{\sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\phi}(i)} \geq 1, \quad (1)$$

где  $\sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\text{дон}}(i)$  и  $\sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\phi}(i)$  - допустимая и фактическая величина прироста неровностей в течении расчетного срока службы, м/км;

$i$  – расчетный год;

$t$  – расчетный срок.

Рассматривая накопление усталостных повреждений асфальтобетонного покрытия с точки зрения гипотезы Майнера, принимаем, что надежность покрытия зависит от фактического и допустимого количества приложенных расчетных нагрузжений. Следовательно, коэффициент надежности, с точки зрения формирования усталостных разрушений, в течении срока службы должен соответствовать условию

$$K_{н.р.} = \frac{\sum_{i=1}^t N_{\text{дон}}(i)}{\sum_{i=1}^t N_{\phi}(i)} \geq 1, \quad (2)$$

где  $\sum_{i=1}^t N_{\text{дон}}(i)$  - допустимое число расчетных нагрузок до наступления предельного состояния, шт.;

$\sum_{i=1}^t N_{\phi}(i)$  - фактическое число приложенных расчетных нагрузок, шт.

Надежность дорожного покрытия и дорожной одежды зависят от изменения ровности покрытия и количества приложенных расчетных нагрузок, определяющих величину коэффициента надежности. Следовательно, выражения (1) и (2) тождественны и их можно представить в виде

$$\frac{\sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\text{дон}}(i)}{\sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\phi}(i)} = \frac{\sum_{i=1}^t N_{\text{дон}}(i)}{\sum_{i=1}^t N_{\phi}(i)}. \quad (3)$$

Из выражения (3) фактическая величина прироста неровностей в течении срока службы определяется выражением

$$\sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\phi}(i) = \frac{\sum_{i=1}^t N_{\phi}(i) \cdot \sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\text{дон}}(i)}{\sum_{i=1}^t N_{\text{дон}}(i)}. \quad (4)$$

Взаимосвязь изменения ровности покрытия (накопление деформаций) с общим количеством расчетных автомобилей подтверждается в исследованиях А.К. Бируля,

О.А. Красикова, где искомое значение ровности покрытия на момент ее оценки зависит от суммарной массы брутто пропущенных автомобилей. Количество расчетных автомобилей, по исследованиям В.А. Веренько, В.Н. Яромко, непосредственно связано со сроком службы дорожной одежды  $T(i)$ , а в исследовательских работах Г.С. Бахраха предложена зависимость

$$T(i) = B \cdot \frac{\sum_{i=1}^t N_{\phi}(i)}{\sum_{i=1}^t N_{\text{дон}}(i)}, \quad (5)$$

где  $B$  – эмпирический коэффициент.

Следовательно, величина неровностей определяется по формуле

$$\sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\phi}(i) = T(i) \cdot \sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\text{дон}}(i). \quad (6)$$

Фактический прирост неровностей есть разница между конечным ( $IRI_{\phi}(i)$ ) и начальным ( $IRI_{\phi}(0)$ ) значением ровности покрытия автомобильной дороги в расчетный период на первый и последний расчетный год (7)

$$\sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\phi}(i) = IRI_{\phi}(i) - IRI_{\phi}(0), \quad (7)$$

Существующие требования к допустимому приросту неровностей за срок службы регламентируются нормативными документами по ровности покрытия при приемке после проведения ремонта и максимально допустимыми при эксплуатации. Установленные требования зависят от расчетной скорости - категории дороги и расчетного срока службы. Следовательно, допустимый объем сформированных неровностей до наступления предельного состояния необходимо определять с учетом установленного срока службы ( $T_{\text{сл}}$ ) по формуле

$$\sum_{i=1}^t \Delta IRI_{\text{дон}}(i) = \frac{IRI_{\text{н}}(T_{\text{сл}}) - IRI_{\text{н}}(0)}{T_{\text{сл}}}, \quad (8)$$

где  $IRI_{\text{н}}(T_{\text{сл}})$  – предельно допустимые (фактические) значения ровности покрытия к концу срока службы, м/км;

$IRI_{\text{н}}(0)$  – предельно допустимые значения ровности покрытия после строительства, капитального ремонта (реконструкции) или начальное на момент расчета, м/км

Используя формулы (7) и (8) уравнение регрессии ровности покрытия можно выразить формулой

$$IRI_{\phi}(i) = T(i) \cdot \frac{IRI_{\text{н}}(T_{\text{сл}}) - IRI_{\text{н}}(0)}{T_{\text{сл}}} + IRI_{\phi}(0). \quad (9)$$

Окончательно выражение (9) принимает вид

$$IRI_{\phi}(i) = T(i) \cdot R_{\phi}(i) + B_{\phi}(i), \quad (10)$$

где  $R_{\phi}(i)$  – эмпирический коэффициент регрессии ровности;

$B_{\phi}(i)$  – эмпирический коэффициент при построении модели регрессии ровности соответствует начальному значению ровности за срок службы.

Введем понятие фактического коэффициента ( $K_{н.р.}$ ) надежности покрытия, определяемого по формуле

$$K_{н.р.} = \frac{R_n}{R_{\phi}(i)} \geq 1, \quad (11)$$

Нормативный коэффициент регрессии для вновь вводимых в эксплуатацию дорог определяется исходя из (8) по формуле

$$R_n = \frac{IRI_n(T_{сл}) - IRI_n(0)}{T_{сл}} \quad (12)$$

Для эксплуатируемых участков дорог нормативный коэффициент регрессии определяется методом статистической обработки всех участков дорог с аналогичной расчетной скоростью для выбранной сети и принятия за нормативное значение величину коэффициента регрессии при заданном уровне надежности 0,8. Фактическое значение коэффициента регрессии получается при построении линейной модели по результатам ежегодных измерений ровности за расчетный период методом наименьших квадратов.

В процессе исследований установлено, что при одинаковых темпах снижения ровности и соответственно одинаковом коэффициенте регрессии  $R_{\phi}(i)$  для разных участков дорог, надежность дорожного покрытия может существенно отличаться. При одинаковой регрессии ровности участки дорог имеют различные сроки службы и в этом случае развитие регрессии ровности не влияет на коэффициент надежности, определяемый по формуле (11), рисунок 1.

Введем понятие коэффициента срока службы ( $K_{н.т.}$ ), определяемого по формуле

$$K_{н.т.} = \frac{T_{сл}}{T(i)} \geq 1, \quad (13)$$

где  $T_{сл}$  – расчетный срок службы, лет;

$T(i)$  – фактический срок службы покрытия (рисунок 2) по формуле

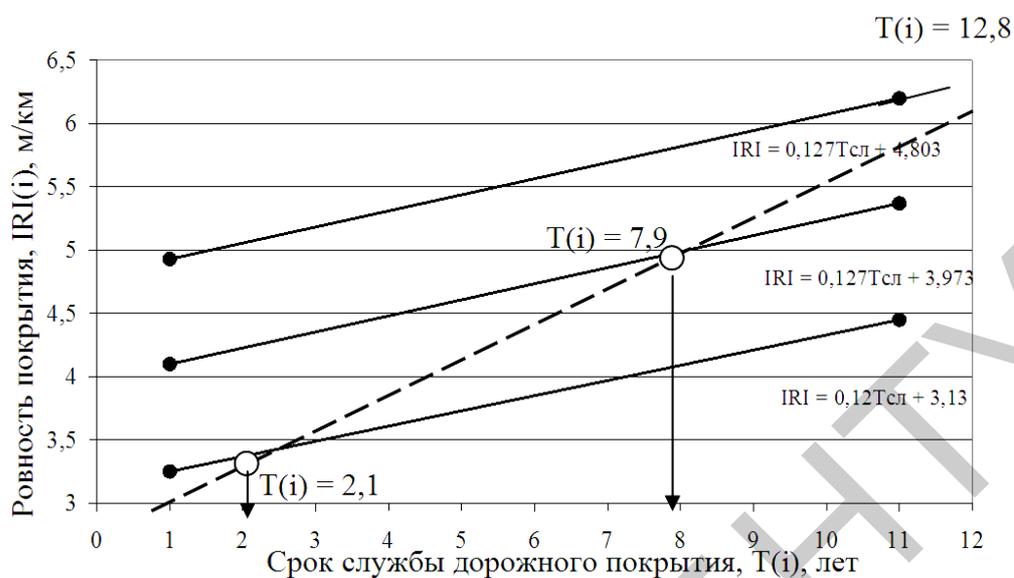
$$T(i) = \frac{B_{\phi}(i) - B_n}{R_n - R_{\phi}(i)}, \quad (14)$$

где  $B_{\phi}(i)$  – эмпирический коэффициент;

$R_n$  – нормативный коэффициент по формуле (12);

$B_n$  – нормативное значение ровности при вводе в эксплуатацию, м/км;

$R_{\phi}(i)$  – фактический коэффициент регрессии.



— фактическая регрессия ровности — нормативная регрессия  
**Рисунок 1 – Построение модели регрессии ровности покрытия автомобильных дорог**

Фактический коэффициент надежности дорожной одежды ( $K_{\phi}$ ) определяется в зависимости от расчетных частных коэффициентов для вводимых в эксплуатацию автомобильных дорог по формуле

$$K_{\phi} = K_{н.р.} \geq 1. \quad (15)$$

- для эксплуатируемых дорог по формуле

$$K_{\phi} = K_{н.р.} \cdot K_{н.т.} \geq 1. \quad (16)$$

**В третьей главе** проведены экспериментальные исследования, направленные на изучение воздействия транспортной нагрузки на верхние слои покрытия, подтверждение полученной теоретической модели изменения ровности покрытия, подтверждение закона нормального распределения при обработке статистических данных, анализ возможных прямых зависимостей ровности покрытия – дефектности покрытия, ровности покрытия – общего модуля упругости дорожной одежды.

Для определения величин напряжений, возникающих в слоях дорожной конструкции закладывались датчики давления и тензометрические датчики. При проведении опытных экспериментов с использованием высокоточных датчиков, заложенных в слои дорожной конструкции установлено, что воздействие транспортной нагрузки вызывает наиболее интенсивное разрушение в верхних слоях асфальтобетонных покрытий по ряду следующих причин:

1) воздействие транспортной нагрузки происходит на предварительно напряженный асфальтобетонный слой от воздействия предыдущих осей за исключением первой, как правило наименее загруженной. При воздействии на преднапряженный материал, согласно эффекта Баушингера, возникают пластические деформации не зависимо от величины нагрузки [10];

2) с увеличением скорости движения снижается нагрузка на слои основания, что приводит к увеличению нагрузки на покрытие, характеризуемой ростом силового воздействия при увеличении ускорения элементарной площадки материала покрытия;

3) в каждой точке покрытия возникают знакопеременные напряжения в трех фазах, что подтверждает снижение прочности верхних слоев по причинам возникновения усталостных разрушений. В результате возникают дефекты покрытия, классифицируемые Я.Н. Ковалевым как дефекты структуры асфальтобетона (усталость), нарушение сплошности при разупрочнении в ослабленных точках (просадки), формоизменение поверхности покрытия (ухудшение ровности).

На основании проведенных исследований подтверждается гипотеза о развитии неровностей вследствие разрушения слоя покрытия в наиболее ослабленных точках.

При проведении испытаний и обработки данных измерения ровности на 253 опытных участках подтверждена зависимость (10) с высоким коэффициентом корреляции  $R^2 = 0,6-0,9$ . При обработке данных статистическими методами подтвержден закон нормального распределения для расчетного коэффициента вариации  $C_v = 0,2-0,3$ .

В результате проведения анализа изменения дефектности дорожной одежды на эксплуатируемых дорогах установлено, что существует некоторая закономерность ухудшения ровности покрытия при общем приросте структурных дефектов покрытия. В тоже время взаимосвязь повреждаемости дорожной одежды и ровности покрытий сложно проследить вследствие значительных объемов текущих ремонтов (устройства защитных слоев, слоев износа). В этом случае тенденция прироста пластических деформаций и тем самым снижение несущей способности дорог будет определяться темпами ухудшения ровности и ее интервальными значениями за межремонтный срок службы.

**В четвертой главе** приводится методика назначения ремонтных мероприятий на основании разработанной теории по экспериментальному участку и по сети выбранных автомобильных дорог, приводится экономическое обоснование выбора ремонтных мероприятий по разработанной методике в сравнении с существующими системами.

Расчетное фактическое значение коэффициента надежности ( $K_\phi$ ) определяет устойчивую работу дорожной одежды и не требует проведения капитальных и текущих ремонтов при выполнении условия (15), (16). В этом случае проводятся работы по содержанию согласно разработанным программам на текущий год.

Назначение ремонтных мероприятий в виде текущего ремонта назначается в виде устройства выравнивающего слоя (17) и устройства только тонких, защитных слоев (18)

$$0,8 \leq K_\phi < 1, K_{н.т.} < 1,0 \quad (17)$$

$$0,8 \leq K_\phi < 1, K_{н.т.} = 1,0 \quad (18)$$

Прогнозируемое время проведения текущего ремонта ( $T_{рем}$ ) определяется из условия

$$T_{рем} = T_{сл} - T(i), \quad (19)$$

где  $T(i)$  – фактический срок службы покрытия по (14);

$T_{сл}$  – заданный расчетный срок службы, лет.

Назначение ремонтных мероприятий в виде капитального ремонта назначается в виде капитального ремонта с фрезерованием и устройством конструктивных слоев покрытия (20) или проведения капитального ремонта только с устройством конструктивных слоев покрытия (21).

$$0,5 \leq K_{\phi} < 0,8, K_{н.т.} < 0,8 \quad (20)$$

$$0,5 \leq K_{\phi} < 0,8, K_{н.т.} = 0,8 \quad (21)$$

Необходимость переустройства основания при проведении капитального ремонта (реконструкции) определяется условием

$$K_{\phi} < 0,5 \quad (22)$$

Методика оценки экономической эффективности с использованием соотношения транспортных затрат и ровности покрытия, приведенная в работе, разработана и внедрена Мировым банком.

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

$$VOC_{ij} = (a_i + b_i IRI_j + c_i IRI_j^2) \times l_j, \quad (23)$$

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 рассматривается как снижение общетранспортных затрат для каждой стратегии ремонтных мероприятий по сравнению с вариантом, когда ремонт не производился.

На основании проведенных исследований подтверждена экономическая эффективность ремонтных мероприятий по разработанной методике, что подтверждает необходимость введения в эксплуатацию для проведения корректировки существующей системы назначения ремонтных мероприятий.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Основные научные результаты диссертации.** Проведенные исследования показали, что особенности водно-теплого режима дорожных одежд, режимов движения транспортных средств, проектирования и методов диагностики в комплексе оказывают существенное влияние на результаты и качество оценки эксплуатационного состояния дорог [1, 2]. В процессе исследований выявлен ряд общих вопросов, определяющих причины снижения надежности и работоспособности дорожных одежд, для решения которых необходимо разрабатывать дополнительные методики расчета и вводить дополнительные критерии [3, 4]:

1) оценка состояния дорожных одежд определяется в основном визуальным состоянием покрытия, по объемам зафиксированных разрушений, сформированных на стадии завершения накопления деформаций;

2) значительные объемы ремонтных мероприятий на основании зафиксированных дефектов требуют обоснованного подтверждения при принятии решения о назначении первоочередных ремонтов [5];

3) принимаемые решения по усилению дорожных одежд требуют доработки и усовершенствования с точки зрения доведения требуемой ровности покрытия до нормативных значений в соответствии с программами развития автомобильных дорог республики [12, 6];

4) при назначении текущего ремонта на дорогах общего пользования отсутствуют критерии обоснования устройства тонкослойных покрытий в качестве поддерживающей стратегии вместо проведения капитального ремонта.

Для решения указанных задач введены новые критерии расчета надежности дорожной одежды на основании изменения ровности покрытия [13]. Проведенные рядом научных коллективов научно-практические изыскания, приведенные в работе, подтверждают общие закономерности зависимости ровности покрытий от прочности дорожных одежд [7]. Существующие математические модели имеют различные концептуальные решения, что приводит к несовершенству единой системы оценки эксплуатационного состояния дорог. В работе основным критерием надежности дорожных конструкций принят коэффициент, расчет которого основан на интенсивности изменения ровности покрытия во времени и предельно допустимых значений по условиям безопасности движения [14].

На основании динамики изменения ровности покрытия, расчетной скорости движения и срока службы, с учетом ранее проведенных научных исследований и нормативно-правовой базы разработаны количественные критерии оценки фактической надежности дорожной одежды [8, 15, 9]:

1) коэффициент надежности покрытия ( $K_{н.р.}$ ), определяемый на основании коэффициента регрессии ровности;

2) коэффициент срока службы покрытия ( $K_{н.т.}$ ), определяемый на основании предельного значения величины неровностей за расчетный срок службы;

3) эксплуатационный срок службы покрытия  $T(i)$ .

При проведении опытных экспериментов установлено, что воздействие транспортной нагрузки вызывает наиболее интенсивное разрушение в верхних слоях асфальтобетонных покрытий по ряду следующих причин [10, 16]:

1) воздействие транспортной нагрузки происходит на предварительно напряженный асфальтобетонный слой от воздействия предыдущих осей;

2) с увеличением скорости движения снижается нагрузка на слои основания, что приводит к увеличению нагрузки на покрытие;

3) в каждой точке покрытия возникают знакопеременные напряжения в трех фазах, что подтверждает снижение прочности верхних слоев по причинам возникновения усталостных разрушений [17].

Проведенные практические исследования подтверждают гипотезу о развитии неровностей вследствие разрушения слоя асфальтобетонного покрытия в наиболее ослабленных точках [18]. Практическими исследованиями подтверждена теоретическая модель изменения ровности покрытия в зависимости от срока службы с высоким коэффициентом корреляции. По результатам статистической обработки данных на сети дорог установлены нормативные значения коэффициентов регрессии ровности, что позволило произвести экспериментальный расчет фактических коэффициентов надежности.

**Рекомендации по практическому использованию результатов.** В основу принятия решений по практическому применению предлагаемой методики следует принять анализ состояния дорожных одежд во временном факторе в течение срока службы. На основании результатов расчета фактического коэффициента надежности предложена методика назначения ремонтных мероприятий при необходимости усиления и/или переустройства дорожной одежды, оптимальных сроков проведения назначенных мероприятий, а также учтена возможность прогнозирования и распределения выделяемых средств. Окончательных решением после проведения расчетов по предложенной методике являются [11]:

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 при проведении текущего ремонта с расчетом толщины выравнивающего слоя;

4) обоснование проведения фрезерования покрытия при выполнении капитального ремонта с расчетом глубины фрезерования.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### Статьи в научных журналах и сборниках

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Буртыль, Ю.В. Применение современных методов диагностики при оценке прочностных характеристик нежестких дорожных одежд / Ю.В. Буртыль // Лесная и деревооб. пром-сть // науч. тр. / Белор. гос. технолог. ун-т ; под ред. И.М. Жарского – Минск, 2006. – Вып. XIV. – С. 100–102.
7. 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.
8. 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.
9. 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.
10. Буртыль, Ю.В. Напряжения и деформации дорожных одежд под воздействием транспортных нагрузок / Ю.В. Буртыль // Вестник БНТУ. – 2005. – № 5. – С. 24-27.

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

#### **Материалы конференций**

12. 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.

13. 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., ч. 2, Могилев, 15-16 мая 2003 г. / Бел.-Рос. ун-т; редкол.; И.С. Сазонов (гл.ред.) [и др.]. – Могилев, 2003. - С. 242-244.

14. 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.

15. 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. : в 3 ч. / Бел.-Рос. ун-т ; редкол.: И.С. Сазонов (гл.ред.) [и др.]. – Могилев, 2007. – Ч. 2. – С. 80-81.

16. 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. / Беларус. нац. техн. ун-т. ; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2010. – Т.3 – С. 41.

17. 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. / Беларус. нац. техн. ун-т. ; редкол. С.Е. Кравченко [и др.]. – Минск, 2011. – С. 21–24.

18. 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.

## РЭЗЮМЕ

Буртыль Юрый Валер'евіч

### Абгрунтаванне правядзення рамонтаў 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 даследаванняў і апаратура.** Эксперыменты па даследаванні ўздзеяння транспартных сродкаў на асфальтабетоннае пакрыццё праводзіліся з выкарыстаннем: мабільнага лічбавага вымяральнага ўзмацняльніка «Spider-8», 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 работы на участках 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 своєчасова 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

### Обоснование проведения ремонтов 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: мобильного цифрового измерительного усилителя «Spider-8», 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 САД-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 по использованию.** Расчет фактического коэффициента 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**

**The foundation for road repair based on the change dynamics in operational status**

**Keywords:** 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: mobile digital measuring amplifier «Spider-8», 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.