

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Объект авторского права
УДК 625.7/.8

ЖУКОВСКИЙ
Егор Михайлович

**НЕЖЕСТКИЕ ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ С ПОВЫШЕННОЙ
УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ТРАНСПОРТНОЙ
НАГРУЗКИ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

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.

Научный руководитель: **КРАВЧЕНКО Сергей Егорович**,
кандидат технических наук, доцент,
декан факультета транспортных коммуникаций Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: **НЕГРЕЙ Виктор Яковлевич**,
доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры «Управление эксплуатационной работой и охрана труда» учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»;

БУДНИЧЕНКО Сергей Сергеевич,
кандидат технических наук, главный инженер, СЗАО «Асфальтобетонный завод»

Оппонирующая организация: Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Защита состоится 26 января 2024 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. 204. Телефон ученого секретаря (+37517) 293-96-73, e-mail: kovsharsn@bntu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан 22 декабря 2023 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций,
кандидат технических наук



С. Н. Ковшар

© Жуковский Е. М., 2023

© Белорусский национальный
технический университет, 2023

ВВЕДЕНИЕ

В 2000 г. в Республике Беларусь насчитывалось 74,4 тыс. км автомобильных дорог общего пользования, из которых 66,2 тыс. км имели твердое покрытие. Уже к 2022 г. общая протяженность сети автомобильных дорог общего пользования увеличилась на 40 % и составила 103,4 тыс. км, из них с твердым покрытием – 90,1 тыс. км.

Развитие дорожной сети Республики Беларусь осуществляется в рамках Государственной программы «Дороги Беларуси» на 2021–2025 гг.

Целью данной программы является улучшение транспортно-эксплуатационного состояния автомобильных дорог общего пользования на основе роста привлечения инвестиций в транспортную инфраструктуру для удовлетворения потребностей экономики и общества в транспортных связях.

Критерий дешевизны не может быть сегодня единственным и главным при выборе тех или иных технических решений. Поэтому в настоящее время особенно остро стоит задача разработки и внедрения в дорожную практику методов и технологий, отвечающих всем принципам устойчивого дорожного строительства, которые основываются на необходимости обеспечить ответственное потребление, рациональное природопользование, снижение затрат на возведение и реконструкцию дорог, на их содержание и эксплуатацию, либо снижение общих затрат на протяжении всего жизненного цикла автомобильной дороги с обязательным достижением ее высоких эксплуатационных показателей.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Тема диссертации соответствует приоритетным направлениям научных исследований Республики Беларусь по научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг., утвержденным постановлением Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. № 156 (пункт 3), Национальному плану действий по развитию «зеленой» экономики в Республике Беларусь на 2021–2025 гг., утвержденному постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 10.12.2021 г. № 710, а также Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития на период до 2030 г., одобренной Президиумом Совета Министров Республики Беларусь (протокол от 02.05.2017 г. № 10).

Автор принимал участие в выполнении научно-исследовательской работы ГБ 16-288 «Усталостная долговечность асфальтобетонов – теория и

практическое применение», ГБ 21-244 «Инновационные решения при строительстве и ремонте местных автомобильных дорог»; научно-исследовательской работы «Исследование закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния конструктивных слоев дорожной одежды в зоне расположения крайней полосы движения автомобильной дороги и их учет при проектировании дорожных конструкций» (№ ГР 20201919); научно-исследовательской работы «Экологическая безопасность и ресурсосбережение при возведении и эксплуатации дорожных конструкций автомобильных дорог с учетом особенностей их напряженно-деформированного состояния» (№ ГР 20230616).

Цель и задачи исследования. Целью данного исследования является разработка и использование рекомендаций по проектированию и технологии устройства нежестких дорожных одежд с повышенной устойчивостью к совместному воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов.

Для достижения цели исследования было необходимо решить следующие задачи:

1) провести детальную диагностику состояния дорожных покрытий по ширине проезжей части в зависимости от интенсивности движения, климатических факторов, срока службы покрытий и др.;

2) установить закономерности изменения параметров транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги по ширине проезжей части в зависимости от величины транспортной нагрузки, воздействия климатических факторов;

3) разработать методику учета указанных факторов при расчете на прочность нежестких дорожных одежд;

4) разработать методы проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд с повышенной устойчивостью к совместному воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов;

5) провести промышленную проверку полученных результатов исследований, определить их эффективность и разработать практические рекомендации по их применению.

Объектом исследований являются нежесткие дорожные одежды автомобильных дорог.

Предметом исследований выступают параметры транспортно-эксплуатационного состояния нежестких дорожных одежд, изменяющиеся под воздействием транспортной нагрузки и климатических факторов.

Научная новизна и значимость полученных результатов состоит:

1) в получении новых научно обоснованных данных, развивающих представления об изменении параметров транспортно-эксплуатационного

состояния нежестких дорожных одежд по ширине проезжей части под влиянием транспортной нагрузки и климатических факторов, которые предопределяют обеспечение надежности и долговечности дорожных конструкций;

2) экспериментальном обосновании и разработке методики проектирования дорожных одежд с повышенной устойчивостью к воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов, учитывающей распределение транспортного потока по проезжей части и размеры элементов, составляющих дорожную конструкцию (выполняющих роль гидроизоляции), основанной на корректировке требуемого коэффициента запаса прочности по критерию упругого прогиба, что позволяет повысить надежность и долговечность автомобильных дорог, а также снизить негативное воздействие на окружающую среду и человека;

3) разработке конструкций дорожных одежд с повышенной устойчивостью к совместному воздействию транспортной нагрузки, погодно-климатических и геолого-гидрологических факторов.

Положения, выносимые на защиту:

– экспериментально выявленные закономерности влияния распределения транспортной нагрузки и наличия укрепленных элементов обочин, выполняющих гидроизолирующую функцию, на дефектность дорожных покрытий по ширине проезжей части, позволившие установить значимость данных факторов для обеспечения заданных сроков службы при проектировании и устройстве дорожных одежд;

– методика проектирования дорожных одежд с повышенной устойчивостью к совместному воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов, учитывающая распределение транспортного потока по проезжей части и величину элементов дорожной конструкции, выполняющих роль гидроизоляции, основанная на корректировке требуемого коэффициента прочности по критерию упругого прогиба, что позволяет повысить надежность и долговечность автомобильных дорог, увеличить срок их службы, а также снизить негативное воздействие на окружающую среду и человека;

– конструкции нежестких дорожных одежд с дифференцированной прочностью по ширине проезжей части, позволяющие снизить неравномерное воздействие транспортной нагрузки и климатических факторов;

– результаты производственной апробации предложенных методов проектирования и устройства конструкций нежестких дорожных одежд с повышенной устойчивостью к совместному воздействию транспортной нагрузки, климатических факторов.

Личный вклад соискателя. Диссертация представляет собой самостоятельный труд соискателя. Основные положения, выносимые на защиту, результаты теоретических и экспериментальных исследований получены автором при консультации научного руководителя – кандидата технических наук, доцента С. Е. Кравченко.

Апробация результатов диссертации. Материалы диссертационной работы представлены в виде докладов и сообщений на более чем 20 международных научно-технических конференциях в г. Минске, г. Гомеле, г. Санкт-Петербурге, г. Омске, г. Гданьске, г. Казани, г. Астрахани и др.

Результаты диссертационного исследования внедрены в производственный процесс филиалом КУП «Минскоблдорстрой» - «Облдорпроект» при выполнении проектных работ по объекту «Реконструкция автомобильной дороги Н-9071 Лецковщина-Прилуки Минского района». Возможность практического использования в производстве подтверждены филиалом ДЭУ № 5 РУП «Минскавтодор-Центр».

Опубликованность результатов диссертации. По результатам выполненных исследований опубликовано 28 работ, из них: 5 статей в рецензируемых научных журналах (объемом 4,1 а. л.), 16 публикаций в сборниках докладов на международных и республиканских конференциях, 1 дорожный методический документ. Без соавторов опубликовано 5 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем работы составляет 159 страниц и включает: 55 страниц машинописного текста, 35 рисунков, 21 таблица, 20 приложений. Библиографический список состоит из 120 наименований, из которых 28 авторских работ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении представлено обоснование актуальности темы работы. Сегодня остро стоит задача совершенствования дорожной сети Республики Беларусь, при этом необходимо не только улучшать ее транспортно-эксплуатационные характеристики, но и решать сопутствующие экономические, экологические и социальные вопросы.

В первой главе рассмотрены факторы, определяющие различия в работе конструкции дорожной одежды по ширине проезжей части. Так к основным разрушающим воздействиям, вызывающим неравномерное по ширине проезжей части разрушение покрытия, можно отнести транспортную нагрузку и климатические факторы.

Ключевым фактором, который определяет различия в условиях работы конструкции дорожной одежды по ширине проезжей части, является воздействие транспортной нагрузки, а точнее – состав и распределение транспортного потока по полосам движения автомобильных дорог.

Под воздействиями климатических факторов понимается главным образом влагонакопление и промерзание дорожной конструкции.

Климатические факторы влияют на водно-тепловой режим грунтов земляного полотна. Устойчивость земляного полотна и дорожной одежды будет обеспечена при условии создания стабильного неизменного во времени водно-теплого режима земляного полотна.

Следует принять во внимание, что в грунтах под действием динамической нагрузки изменяются его свойства. Так уменьшаются углы естественного откоса, наблюдается тиксотропное разжижение, которое характерно для глинистых грунтов и песков с содержанием глинистых частиц от 1,5 %.

Схема увлажнения дорожной конструкции и совместного негативного действия климатических факторов показана на рисунке 1.



**1 – атмосферные осадки; 2 – поверхностная вода; 3 – капиллярная вода;
4 – уровень поверхности земли; 5 – уровень грунтовых вод**
**Рисунок 1 – Источники увлажнения и распределение интенсивности
воздействия водно-тепловых факторов на дорожную конструкцию**

Таким образом, наибольшее влияние на работу конструкции дорожной одежды по ширине проезжей части оказывает совместное воздействие транспортной нагрузки и климатических факторов, распределяющихся неравномерно по ширине дорожного полотна. Причем интенсивность их воздействия от бровки обочины до оси дороги снижается.

Анализ источников показал, что первые попытки учета климатических факторов как в зарубежной, так и в отечественной практике начали предприниматься с XIX века, однако внедрение в методики проектирования осуществлено в 1930–1940-е гг. и преимущественно связано с исследованиями, проведенными под руководством профессора Н. Н. Иванова.

В дальнейшем методика, разработанная Н. Н. Ивановым дополнялась благодаря работам А. М. Кривисского, М. Б. Корсунского, П. И. Теляева, П. Д. Россовского, Н. А. Пузакова, Ю. М. Васильева, В. Ф. Бабкова, П. В. Горельшева, В. Д. Казарновского, Б. С. Радовского, Г. Г. Тришина, Р. З. Порицкого, В. П. Корюкова и др. Так были уточнены критерии проектирования нежестких дорожных одежд, уточнены и дополнены принципы учета интенсивности и распределения транспортного потока. В частности, появилась возможность проектирования дорожных одежд с различной прочностью по ширине проезжей части.

В последующем положения данной методики со своими национальными особенностями получили развитие в национальных документах Беларуси, Украины, России, Казахстана, Узбекистана и других стран постсоветского пространства благодаря работам таких ученых, как В. А. Веренко, В. Н. Яромко, Е. В. Угловой, М. А. Николенко, С. К. Илиополова, И. А. Золотаря, С. В. Семенова.

Однако в настоящее время вопросы воздействия климатических факторов так непосредственно и не учтены в расчете на прочность нежестких дорожных одежд, и тем более отсутствуют расчеты на совместное воздействие транспортной нагрузки и климатических факторов. Это характерно не только для отечественных методик, но также и для зарубежных, что свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования существующей методики проектирования нежестких дорожных одежд.

Таким образом был сформулирован ряд задач, решение которых необходимо получить для достижения поставленных целей:

- провести детальную диагностику состояния дорожных покрытий и исследовать особенности транспортно-эксплуатационного состояния дорожной конструкции по ее ширине;
- установить закономерности изменения транспортно-эксплуатационного состояния автомобильной дороги по ширине проезжей части в зависимости от транспортной нагрузки, климатических факторов, фактического срока службы дорожной одежды;
- разработать методику учета указанных факторов при расчете на прочность нежестких дорожных одежд и разработать способы проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд с повышенной устойчивостью к указанным воздействиям.

Во второй главе проведен анализ изменения транспортно-эксплуатационного состояния дорожных покрытий по ширине проезжей части автомобильной дороги.

Для обеспечения достоверности исследований и анализа при выборе участков автомобильных дорог использованы следующие критерии:

изучались участки дорог с различным числом полос движения, поперечными и продольными профилями, укрепленными элементами обочины и сроком службы, расположенные во всех дорожно-климатических районах Республики Беларусь. Это позволило достоверно оценить воздействие от транспортной нагрузки и климатических факторов.

Схема размещения исследуемых участков представлена на рисунке 2.

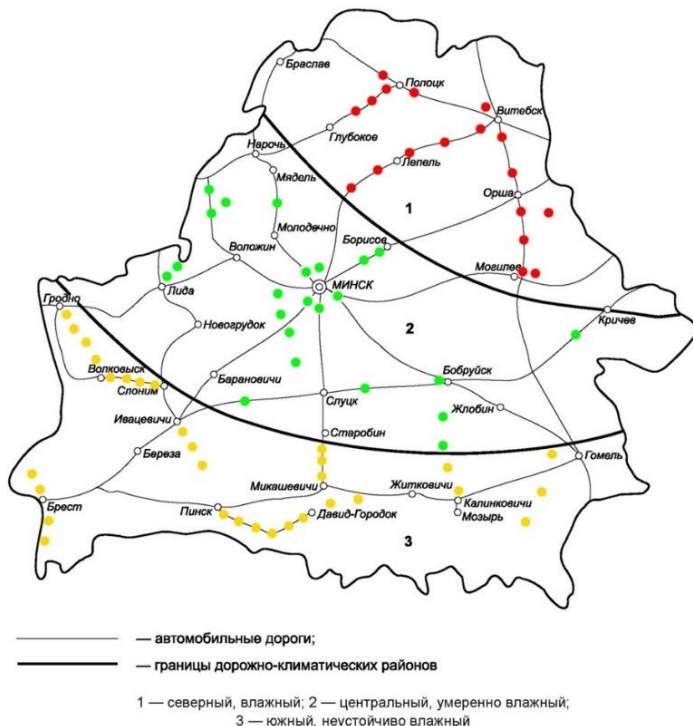


Рисунок 2 – Схема расположения исследуемых участков

При проведении анализа транспортно-эксплуатационного состояния дорожных покрытий изучались прочность и состояние дорожных покрытий, а также распределение транспортных средств.

Измерение прочности и ровности дорожных покрытий по ширине проезжей части вызывает затруднения. Это обусловлено тем, что ремонтные мероприятия в течение срока службы выполняют на разных полосах движения или «картами». Однако проведенные измерения показывают, что правые полосы движения многополосных дорог имеют прочность меньше, чем остальные. Ровность дорожных покрытий на первых

полосах также значительно хуже. Это подтверждает допущение, что именно правые полосы значительно более подвержены интенсивному воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов, что вызывает неравномерное разрушение дорожных покрытий.

Воздействие транспортного потока на дорожные покрытия оценивалось по интенсивности транспортного потока. Учет интенсивности выполнялся для каждой полосы визуальным способом на выбранных участках и автоматизировано – на пунктах системы динамического взвешивания (СДВ) с разделением категорий транспортных средств.

По результатам статистической обработки данных получены фактические коэффициенты распределения транспортного потока по полосам движения, которые в Республике Беларусь значительно выше нормативных, установленных ТКП 45-3.03-112, и изменяются в широких пределах, что свидетельствует о существенной перегрузке дорожных конструкций на первых полосах движения, и приводит к интенсификации процессов их разрушения.

Анализ состояния дорожных покрытий осуществлялся по уровню дефектности согласно методике ТКП 140.

Воздействие климатических факторов по ширине проезжей части определялось только на двухполосных дорогах для исключения влияния на показатели транспортной нагрузки. Особенностью анализа являлось определение соотношения дефектностей Δ правого и левого сегментов полосы движения, под которыми понимается половина полосы движения.

Для анализа воздействия климатических факторов было введено понятие **параметра гидроизоляции Υ** , под которым понимается суммарная ширина элементов дорожной конструкции (в метрах), выполняющих роль гидроизоляции слоев дорожной одежды и земляного полотна (укрепленные полосы обочин, остановочные полосы, полосы движения, гидроизоляционные прослойки на обочинах), которая исчисляется от правого края рассматриваемой полосы движения в направлении бровки обочины.

Были построены графики зависимости соотношения дефектностей Δ правого и левого сегментов полосы от фактического срока службы T для каждого дорожно-климатического района (ДКР) с учетом параметра гидроизоляции Υ . Графики представлены на рисунке 3.

Анализ графиков, представленных на рисунке 3, показывает, что увеличение параметра гидроизоляции Υ существенно снижает влияние климатических факторов на надежность дорожной конструкции на различных полосах движения.

Для исследования влияния транспортной нагрузки на работу дорожной конструкции на различных полосах проезжей части были совместно

детально проанализированы данные по дефектности покрытий многополосных дорог и характеристики транспортного потока.

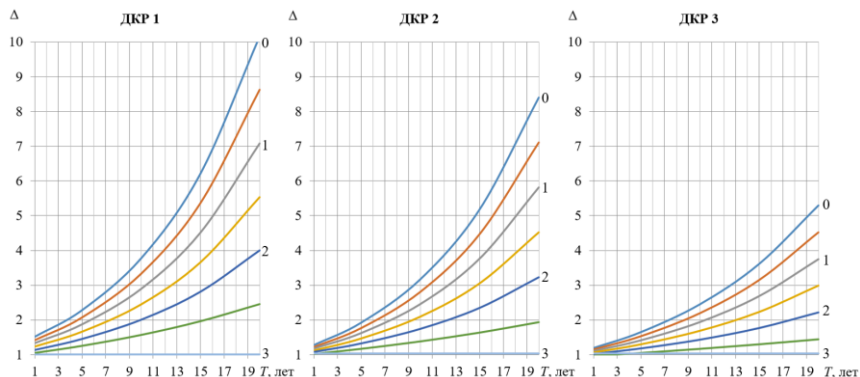


Рисунок 3 – Зависимость дефектностей правого и левого сегмента полосы Δ от срока службы T

Примечание: на кривых значение параметра гидроизоляции Υ в метрах

Значение дефектности только от воздействия транспортной нагрузки было получено вычитанием из общей дефектности величины дефектов от воздействия климатических факторов на дорожную конструкцию, в результате чего была построена диаграмма удельного веса видов дефектности в зависимости от срока службы (рисунок 4).

На рисунке 4 видно, что соотношение факторов, определяющих дефектность, различно в разные годы эксплуатации. Однако влияние климатических факторов возрастает с увеличением сроков службы дорожных одежд.

Таким образом, подтверждается необходимость совместного учета данных разрушающих факторов при проектировании нежестких дорожных одежд.

В третьей главе разработана методика проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд с повышенной устойчивостью к совместному воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов.

Поскольку параметры надежности и коэффициента запаса прочности имеют одну физическую и функциональную основу, то была разработана методика дифференцированного назначения требуемых параметров надежности и прочности дорожной одежды для различных полос движения транспорта на основании исследований, приведенных в главе 2.

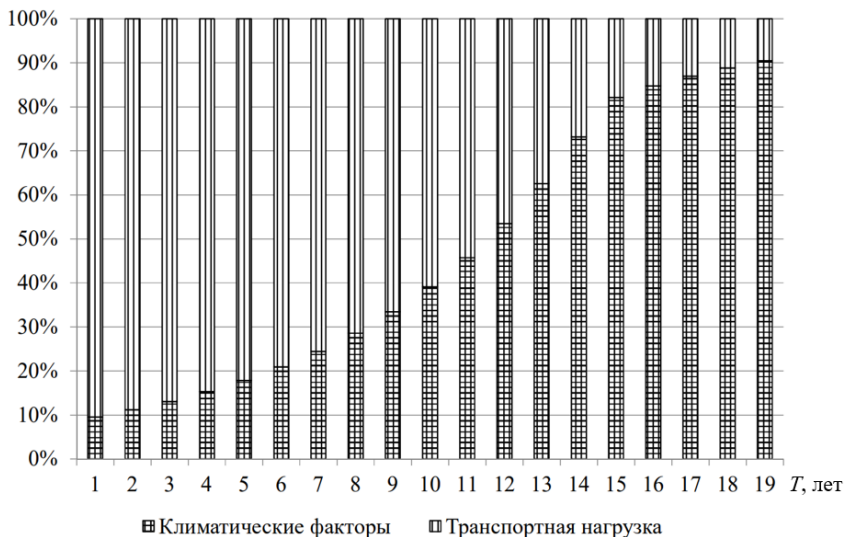


Рисунок 4 – Соотношение дефектностей покрытия от воздействия климатических факторов ДПвтр и от воздействия транспортной нагрузки ДПтн в зависимости от срока службы покрытия

Коэффициент прочности по критерию упругого прогиба $K_{прi}^{тр}$ для каждой полосы определяется корректированием требуемого коэффициента прочности по критерию упругого прогиба $K_{пр}^{тр}$ для всей дорожной конструкции, определяемому по разделу 6 ТКП 45-3.03-112, путем использования параметра учета распределения транспортной нагрузки a_{1i} и параметра учета неравномерности воздействия водно-теплового режима a_{2i} по формуле

$$K_{прi}^{тр} = K_{пр}^{тр} \cdot a_{1i} \cdot a_{2i}. \quad (1)$$

Параметр учета распределения транспортной нагрузки a_{1i} определяется по номограмме, изображенной на рисунке 5, а параметр учета неравномерности воздействия климатических факторов a_{2i} определяется для первой полосы в зависимости от дорожно-климатического района – по номограмме, изображенной на рисунке 6, а для второй и третьей – принимается равным 1,0.

Корректировка только критерия упругого прогиба обусловлена тем, что данный показатель является интегральным показателем прочности дорожной одежды.

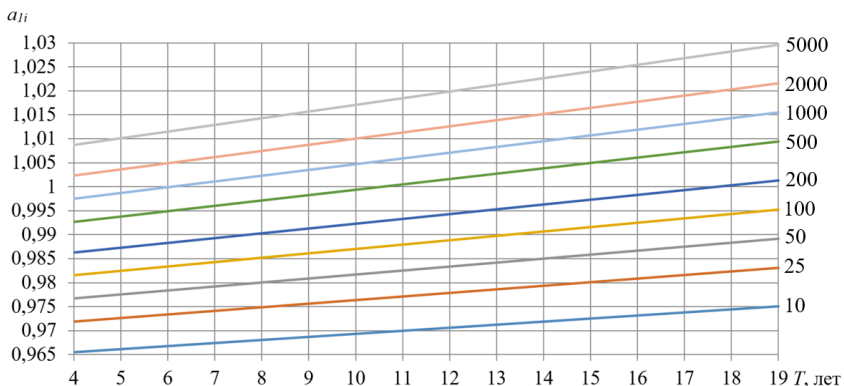


Рисунок 5 – Пример номограммы для определения параметра распределения транспортной нагрузки в зависимости от интенсивности движения расчетных автомобилей (авт/сут)

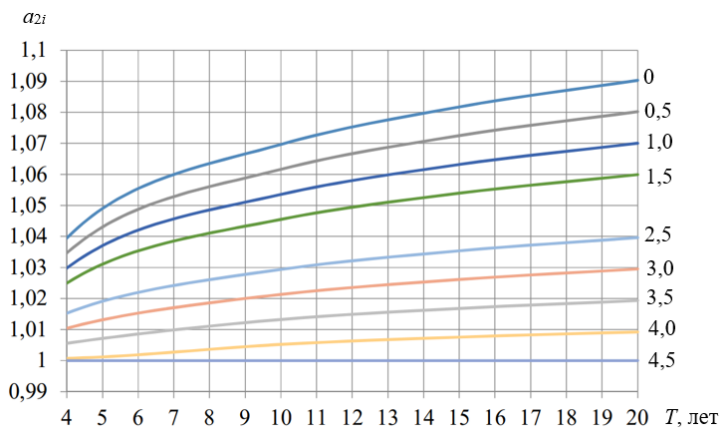


Рисунок 6 – Пример номограммы для определения параметра воздействия климатических факторов при различных параметрах гидроизоляции Y (на кривых)

Проектирование и расчет дорожных одежд с повышенной устойчивостью к совместному воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов основаны на принципах конструирования и расчета дорожных одежд, изложенных в разделах 5 и 6 ТКП 45-3.03-112.

Такие дорожные одежды конструируются путем применения следующих мероприятий:

- использование асфальтобетонных смесей различных типов на разных полосах по ширине проезжей части;
- устройство армирующих прослоек из геосинтетических материалов в пределах первых полос;
- устройство слоев покрытия и основания переменной толщины.

Снижение воздействия погодно-климатических факторов осуществляется путем достижения необходимого значения параметра гидроизоляции Y .

Выбор конструкции считается рациональным, в случае выполнения одного из условий: увеличения срока службы дорожных покрытий или обеспечения меньшей стоимости дорожной одежды при одинаковом сроке службы конструкции T до капитального ремонта.

В четвертой главе рассмотрены вопросы технологии устройства нежестких дорожных одежд с повышенной устойчивостью к воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов.

Предлагаемые в главе 3 конструктивные решения, за исключением решений по снижению воздействия климатических факторов на дорожную одежду, в своей основе не имеют различий в технологии устройства по сравнению с традиционными дорожными одеждами. Интерес вызывает конструктивные решения и технология достижения требуемого параметра гидроизоляции Y на эксплуатируемых автомобильных дорогах.

Для решения задачи по повышению параметра гидроизоляции дорожной одежды, а также снижению притока воды к слоям основания дорожной одежды разработана конструкция обочины автомобильной дороги (рисунок 7) с прослойкой из гидроизоляционного материала, отличающаяся тем, что гидроизоляционный материал приклеивается к кромке покрытия с использованием битумно-полимерной ленты.

Прослойка из гидроизоляционного материала 1 шириной B устраивается на глубине от 0,2 до 0,3 м от верха обочины. При помощи одной битумно-полимерной ленты 2 она приклеивается к кромке покрытия 3 , а при помощи второй битумно-полимерной ленты (защитной) 4 – обеспечивается гидроизоляция места сопряжения гидроизоляционного материала и покрытия.

Предложенная конструкция обочины автомобильной дороги обеспечивает требуемый параметр гидроизоляции дорожной одежды, позволяет снизить приток влаги к слоям основания дорожной одежды и в конечном итоге продлить срок их службы.

Данная конструкция обочины автомобильной дороги может применяться как при новом строительстве автомобильных дорог, так и при осуществлении содержания и ремонтов существующих.

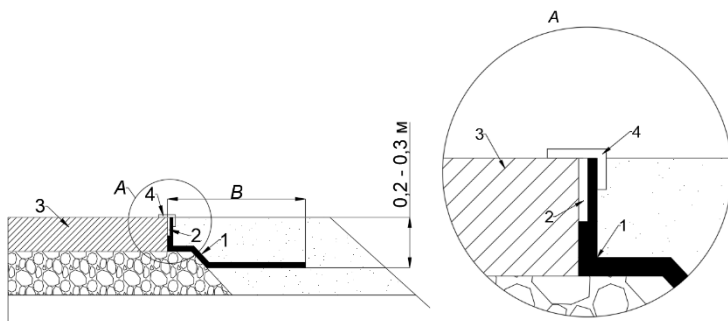


Рисунок 7 – Конструкция обочины автомобильной дороги для достижения требуемого параметра гидроизоляции на эксплуатируемой автомобильной дороге

В пятой главе рассмотрено внедрение результатов исследования и оценка их эффективности.

Внедрение результатов исследования осуществлено на стадии проектной документации по реконструкции автомобильной дороги Н-9071 Лецковщина – Прилуки Минского района.

Реконструкцией запланировано доведение дороги Н-9071 Лецковщина – Прилуки Минского района до IV технической категории. Расчетная нагрузка группы А1. Проектом предусмотрено устройство облегченной дорожной одежды.

Принятая конструкция с переменной толщиной слоев с учетом предложенных рекомендаций представлена на рисунке 8.

Анализ эффективности принятого решения показывает, что удорожание предлагаемого варианта составляет порядка 7,5 % за счет увеличения потребности в материалах. При этом достигается нормативный срок службы, равный 8 годам, в сравнении – 4,5 года для конструкции без учета совместного воздействия транспортной нагрузки и климатических факторов.

Оценка затрат на протяжении жизненного цикла осуществлялась с помощью программного комплекса НDM-4, который предназначен для анализа, планирования, управления и оценки проектных решений дорог.

Чистый дисконтированный доход от устройства 1 км предлагаемой дорожной одежды составляет 237 тыс. руб., а внутренняя норма доходности 26,1 %.

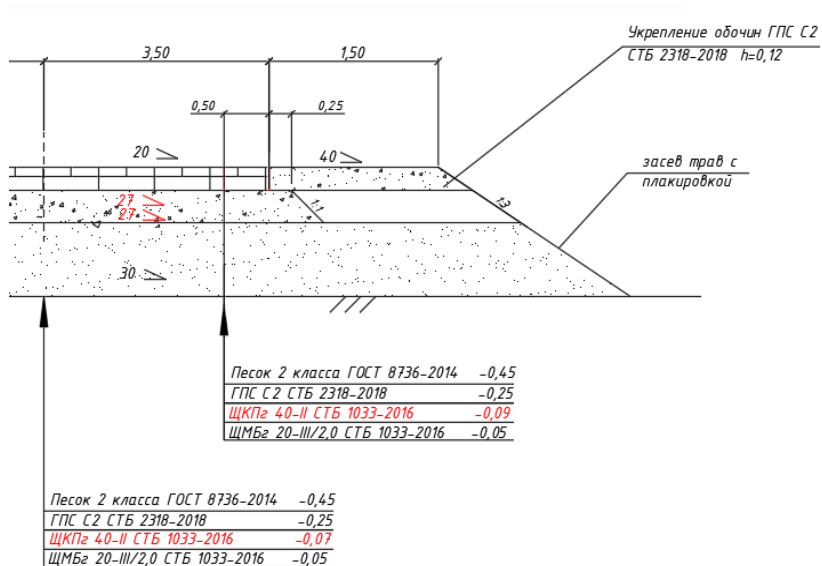


Рисунок 8 – Принятая конструкция дорожной одежды

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработаны научно-практические основы проектирования и устройства нежестких дорожных одежд с повышенной устойчивостью к совместному воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов [1–28].

2. Определены факторы, обуславливающие различие работы конструкции дорожной одежды по ширине проезжей части автомобильной дороги и закономерности изменения ее транспортно-эксплуатационного состояния. Установлено, что со стороны транспортного потока наибольшее влияние оказывает его распределение по ширине проезжей части, его интенсивность и грузонапряженность, а со стороны климатических факторов – параметр гидроизоляции, представляющий собой суммарную ширину элементов дорожной конструкции, выполняющих роль гидроизоляции. Причем их влияние изменяется во времени: до 5 лет с начала эксплуатации дефектность главным образом (80 %–90 %) формируется под влиянием транспортной нагрузки, при дальнейшей возрастает воздействие климатических факторов и достигает 70 %–80 % на 14–15-й год эксплуатации [1–3; 7–9].

3. Разработана методика учета транспортной нагрузки и климатических факторов при расчете на прочность нежестких дорожных одежд, основанная на корректировке требуемого коэффициента упругого прогиба с учетом фактического распределения транспортного потока по полосам движения и параметра гидроизоляции, что позволяет увеличить срок эксплуатации дорожных одежд на 2–3 года и обеспечить нормативный срок службы дорожных одежд [4; 13; 28].

4. Разработаны конструкции нежестких дорожных одежд повышенной устойчивости к совместному воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов, позволяющие устраивать дорожные одежды с дифференцированной прочностью по ширине проезжей части, соответствующей фактическому их воздействию, обеспечивая при этом рациональное использование материалов конструктивных слоев [11; 12; 21; 24; 28].

5. Разработаны конструктивные и технологические решения по повышению параметра гидроизоляции, которые позволяют снизить разрушающее воздействие климатических факторов как при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог, так и на стадии их содержания [19; 25].

6. Проведена промышленная проверка результатов исследований, реализованная при выполнении проектных работ по реконструкции автомобильной дороги Н-9071 Лецковщина – Прилуки Минского района и подтвердившая эффективность разработки [5; 14; 28].

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes that form a cursive name or set of initials.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Монографии

1. Усталостная долговечность дорожных асфальтобетонов: проблемы и пути решения / С. Е. Кравченко, Е. М. Жуковский [и др.]. – Минск : БНТУ, 2023. – 186 с.

Статьи в рецензируемых научных изданиях

2. Факторы, определяющие характер напряженно-деформированного состояния дорожной конструкции на различных полосах движения транспорта / Е. М. Жуковский [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2021. – № 2. – С. 14–23.

3. Влияние укрепленных элементов обочин на изменение дефектности по ширине дорожных покрытий / Е. М. Жуковский [и др.] // Автомобильные дороги и мосты. – 2022. – № 1. – С. 19–27.

4. Жуковский Е. М. Методика проектирования и конструирования нежестких дорожных одежд с различной прочностью по ширине проезжей части // Вестн. гражд. инженеров. – 2022. – № 6 (95). – С. 125–133.

5. Жуковский Е. М., Кравченко С. Е., Шехова Н. В. К устойчивому дорожному хозяйству через производство негаресурсов // Наука и техника. – 2023. – Т. 22, № 3. – С. 256–264.

Материалы конференций

6. Жуковский Е. М., Кравченко С. Е., Помахо П. С. Особенности структурообразования вновь устроенных асфальтобетонных покрытий под воздействием транспортной нагрузки // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2020. – С. 52–60.

7. Жуковский Е. М., Корончик А. В. Оценка эксплуатационного состояния дорожных покрытий по ширине проезжей части // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2021. – С. 65–71.

8. Жуковский Е. М. Анализ воздействия транспортной нагрузки на неравномерное разрушение по ширине нежестких дорожных одежд // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2021. – С. 48–53.

9. Жуковский Е. М., Корончик А. В., Кравченко С. Е. Закономерности изменения характера и интенсивности воздействия водно-тепловых факторов на дорожную конструкцию по ширине проезжей части автомобильной дороги // Дорожное строительство и его инженерное обеспечение: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2022. – С. 52–56.

10. Жуковский Е. М. Негаресурсы в дорожном строительстве // Новые горизонты – 2022: материалы IX Белорус.-Китай. молодеж. инновац. форума / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2022. – Т. 1. – С. 100–101.

11. Жуковский Е. М. Разнопрочная дорожная одежда // Новые горизонты – 2022: материалы IX Белорус.-Китай. молодеж. инновац. форума / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2022. – Т. 1. – С. 97–99.

12. Жуковский Е. М. Повышение надежности и долговечности автомобильных дорог с нежесткими дорожными одеждами // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XII Междунар. науч.-практи. конф., посвящ. 160-летию Белорус. желез. дороги: в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель, 2022. – С. 333–334.

13. Жуковский Е. М., Корончик А. В., Кравченко С. Е. Особенности воздействия транспорта на конструкции нежестких дорожных одежд и их учет при проектировании конструкций // Каспий и глобальные вызовы: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Астрахан. гос. ун-т. – Астрахань, 2022. – С. 888–893.

14. Жуковский Е. М. Разнопрочная дорожная одежда как составляющая экологического дорожного строительства // Климатические изменения и «зеленые» технологии в ландшафтной среде: материалы Междунар. науч.-практ. конф., / Чечен. гос. ун-т им. А. А. Кадырова. – Грозный, 2022. – С. 48–52.

15. Жуковский Е. М. Нежесткая дорожная одежда с различной прочностью по ширине проезжей части автомобильной дороги // IV Бетанкур. Междунар. инженер. форум: сб. тр. / Петерб. гос. ун-т путей сообщения. – СПб., 2022. – С. 140–141.

16. Жуковский Е. М. Корончик А. В., Кравченко С. Е. Разнопрочная дорожная одежда по ширине проезжей части автомобильной дороги как элемент достижения целей устойчивого развития // Устойчивое развитие в условиях глобальных вызовов: сб. науч. ст. Междунар. конф. / С.-Петербург. гос. эконом. ун-т. – СПб., 2022. – С. 96–103.

17. Жукоўскі Я. М. Дарожнае будаўніцтва і негарэсурсы = Highway engineering and nega-resources // XI форум вузов инженерно-технологического профиля Союзного государства: сб. материалов / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2023. – С. 321–323.

18. Жуковский Е. М. К вопросу оценки эмиссии загрязняющих веществ в процессе эксплуатации автомобильных дорог // Материалы, оборудование

и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / Беларус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2023. – С. 263–264.

19. Жуковский Е. М. Конструкция обочины автомобильной дороги для повышения параметра гидроизоляции // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: материалы XVII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых / Волгоград. гос. техн. ун-т. – Волгоград, 2023. – С. 66–72.

20. Жуковский Е. М. Регулирование сроков весенних ограничений на автомобильных дорогах с нежесткими дорожными одеждами // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, приуроч. к 110-летию со дня рождения Т. В. Алексеевой / Сибир. гос. автомобил.-дорож. ун-т. – Омск, 2023. – С. 354–357.

21. Жуковский Е. М. Конструкция дорожной одежды многополосной автомобильной дороги // Новые технологии – нефтегазовому региону: материалы Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: в 2 т. / Тюмен. индустриал. ун-т. – Тюмень, 2023. – Т. 2. – С. 100–101.

Тезисы

22. Жуковский Е. М., Корончик А. В. К вопросу ресурсосбережения при устройстве и эксплуатации дорожных одежд автомобильных дорог // Современные проблемы природопользования и природообустройства: сб. тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, посвящ. 50-летию кафедры природообустройства / Брест. гос. техн. ун-т. – Брест, 2022. – С. 75.

23. Zhukouski Ya., Koronchik A. Rola różnowytrzymałych warstw drogowych w oszczędności resursów w budownictwie drogowym // VII Interdyscyplinarna Akademicka Konferencja Ochrony Środowisk / Politechnika Gdańska. – Gdansk, 2022. – P. 86.

Патенты

24. ВУ 13145 U, 2023.

25. ВУ 13244 U, 2023.

Другое

26. Усталостная долговечность асфальтобетонов – теория и практическое применение: отчет о НИР (заключ.); ГБ 16-288 [Электронный ресурс] / Беларус. нац. техн. ун-т; рук. С. Е. Кравченко; исполн.: Е. М. Жуковский [и др.]. – Минск : [б. и.], 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

27. Исследование закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния конструктивных слоев дорожной одежды в зоне расположения крайней полосы движения автомобильной дороги и их учет при проектировании дорожных конструкций: отчет о НИР (заключ.) / Белорус. нац. техн. ун-т; рук. С. Е. Кравченко, исполн.: Е. М. Жуковский [и др.]. – Минск, 2022. – 92 с. – № ГР 20201919.

28. ДМД 33200.024-2022. Рекомендации по проектированию разнопрочных дорожных одежд / разраб.: С. Е. Кравченко, А. В. Ладышев, Е. М. Жуковский. – Минск : БелдорНИИ, 2022. – 28 с.

РЭЗІЮМЭ

Жукоўскі Ягор Міхайлавіч

Няжорсткія дарожныя адзенні з павялічынай устойлівасцю к уздзеянню транспартнай нагрузкі і кліматычных фактараў

Ключавыя словы: дарожнае адзенне, трывласць дарожнага адзення, даўгавечнасць дарожнага пакрыцця, дэфектнасць дарожнага пакрыцця, транспартная нагрузка, кліматычныя фактары

Аб'ект даследвання: няжорсткае дарожнае адзенне аўтамабільных дарог.

Прадмет даследвання: апараметры транспартна-эксплуатацыйнага стану няжорсткага дарожнага адзення, якія змяняюцца пад уздзеяннем транспартнай нагрузкі і кліматычных фактараў.

Мэта работы: распрацоўка і выкарыстанне рэкамендацый па практаванні і тэхналогіі ўладкавання няцвёрдага дарожнага адзення з павышанай устойлівасцю да сумеснага ўздзеяння транспартнай нагрузкі і кліматычных фактараў.

Метады даследванняў і апаратура. Даследванне транспартна-эксплуатацыйнага стану дарожных пакрыццяў праводзіліся з выкарыстаннем сістэмы дынамічнага ўзважвання, дэфлектметра падаючага грузу FWD PRI 2100, а таксама візуальна з відэафіксацыяй. Апрацоўка атрыманых вынікаў, матэматычныя разлікі і статыстычная апрацоўка здзяніліся з выкарыстаннем вылічальнай тэхнікі і сучасных кампутарных праграм.

Навуковая навізна атрыманых вынікаў. Прапанавана метадыка практавання дарожных адзенняў з павышанай устойлівасцю да ўздзеяння транспартнай нагрузкі і кліматычных фактараў, якая ўлічвае размеркаванне транспартнага патоку па праезнай частцы і велічыню элементаў дарожнай канструкцыі, якія выконваюць ролю гідраізаляцыі, заснаваная на карэкціроўцы паграбаванага каэфіцыента трываласці па крытэрыю пругкага прагіну, аўтамабільных дарог, павялічыць тэрмін іх службы, а таксама паменшыць негатыўнае ўздзеянне на наваколле і чалавека.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Назначэнне каэфіцыента трываласці па крытэрыю пругкага прагіну, велічыня якога будзе змяняцца па шырыні праезнай часткі дазволіць павялічыць тэрмін службы дарожнага пакрыцця без пагаршэння яго якасцей.

Вобласць прымянення. Пры практаванні дарожнага адзення нована будаўніцтва, рэканструкцыі і капітальнага рамонту, а таксама пры бягучым утрыманні дарог.

РЕЗЮМЕ

Жуковский Егор Михайлович

Нежесткие дорожные одежды с повышенной устойчивостью к воздействию транспортной нагрузкам и климатическим факторам

Ключевые слова: дорожная одежда, долговечность дорожных одежд, долговечность дорожного покрытия, дефекты дорожного покрытия, транспортная нагрузка, климатические факторы

Объект исследования: нежесткие дорожные одежды автомобильных дорог.

Предмет исследования: параметры транспортно-эксплуатационного состояния нежестких дорожных одежд, которые изменяются под воздействием транспортных нагрузок и климатических факторов.

Цель работы: разработка и использование рекомендаций по проектированию и технологии монтажа нежесткой дорожной одежды повышенной устойчивости к совместному воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов.

Методы исследования и аппаратура. Исследование транспортно-эксплуатационного состояния дорожных покрытий проводилось с помощью системы динамического взвешивания, дефлектора падающего груза FWD PRI 2100, а также визуально с видеofиксацией. Обработка полученных результатов, математические расчеты и статистическая обработка проводились с использованием вычислительной техники и современных компьютерных программ.

Научная новизна полученных результатов. Предложена методика проектирования дорожных одежд с повышенной устойчивостью к воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов, учитывающей распределение транспортного потока по проезжей части и размеры элементов, составляющих дорожную конструкцию (выполняющих роль гидроизоляции), основанной на корректировке требуемого коэффициента запаса прочности по критерию упругого прогиба, что позволяет повысить надежность и долговечность автомобильных дорог, а также снизить негативное воздействие на окружающую среду и человека.

Рекомендации по использованию. Назначение коэффициента прочности по критерию упругого прогиба, значение которого будет меняться по ширине дорожного полотна, позволит увеличить срок службы дорожного покрытия без ухудшения его качества.

Область применения. При строительстве новых дорог, реконструкции и капитальном ремонте, а также при текущем содержании дорог.

SUMMARY

Zhukouski Yahor

Flexible road pavements with increased resistance to traffic loads and climatic factors

Key words: road pavement, durability of road pavement, durability of road surface, defects in road surface, traffic load, climatic factors

The object of research: flexible road pavements of highways.

The subject of research: parameters of the transport and operational state of flexible road pavements, which change under the influence of transport loads and climatic factors.

The purpose of dissertation: development and use of recommendations for the design and installation technology of flexible road pavement with increased resistance to the combined effects of traffic load and climatic factors.

Methods of research and equipment. The study of the transport and operational condition of road surfaces was carried out using a dynamic weighing system, a falling load deflector FWD PRI 2100, as well as visually with video recording. Processing of the obtained results, mathematical calculations and statistical processing were carried out using computer technology and modern computer programs.

Scientific innovation of findings. A methodology for designing road pavements with increased resistance to the effects of traffic load and climatic factors is proposed, taking into account the distribution of traffic flow along the roadway and the dimensions of the elements that make up the road structure (acting as waterproofing), based on adjusting the required safety factor according to the elastic deflection criterion, which allows increase the reliability and durability of highways, as well as reduce the negative impact on the environment and humans.

Recommendations for use. Assigning a strength coefficient based on the criterion of elastic deflection, the value of which will vary along the width of the roadway, will increase the service life of the road surface without deteriorating its quality.

Field of application. During the construction of new roads, reconstruction and major repairs, as well as during the routine maintenance of roads.

Научное издание

ЖУКОВСКИЙ
Егор Михайлович

**НЕЖЕСТКИЕ ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ С ПОВЫШЕННОЙ
УСТОЙЧИВОСТЬЮ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ТРАНСПОРТНОЙ
НАГРУЗКИ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

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 22.12.2023. Формат 60×84 1/16. Бумага офсетная. Цифровая печать.
Усл. печ. л. 1,33. Уч.-изд. л. 1,18. Тираж 65. Заказ 1055.

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.