

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Объект авторского права

УДК 625.731.8.033.3+625.731.8.042(043.3)

ЖУКОВСКИЙ
Егор Михайлович

**НЕЖЕСТКИЕ ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ ПОВЫШЕННОЙ
НАДЕЖНОСТИ К СОВМЕСТНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ
И КЛИМАТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

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, 2025

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: **ВЕРЕНЬКО Владимир Адольфович**,
доктор технических наук, профессор;
- БУРТЫЛЬ Юрий Валерьевич**,
кандидат технических наук, доцент кафедр
«Транспортные системы и технологии»
Белорусского национального технического
университета
- Оппонирующая организация УО «Белорусский государственный университет транспорта»

Защита состоится 11 апреля 2025 г. в 11⁰⁰ 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 (+375 17) 293-96-73, e-mail: chistova@bntu.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан 07 марта 2025 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 02.05.05,
кандидат технических наук, доцент



Т. А. Чистова

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 2024 г. общая протяженность сети автомобильных дорог общего пользования увеличилась на 40 % и составила 104,1 тыс. км, из них с твердым покрытием – 90,4 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 усиленного 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 устройству нежестких дорожных одежд повышенной надежности к совместным транспортным и климатическим воздействиям.

Для достижения цели исследования было необходимо решить следующие задачи:

1) провести диагностику параметров транспортно-эксплуатационного состояния дорожных покрытий и установить закономерности их изменения по ширине проезжей части в зависимости от транспортной нагрузки и климатических факторов;

2) разработать методику учета воздействия транспортной нагрузки и климатических факторов при проектировании нежестких дорожных одежд;

3) разработать дополнения к методике проектирования нежестких дорожных одежд, которые обеспечивают их повышенную надежность к совместным транспортным и климатическим воздействиям;

4) 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.

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 определяют надежность автомобильных дорог;

2) в дополнении методики проектирования нежестких дорожных одежд, которые учитывают фактические значения параметров транспортных и климатических воздействий, влияющих совместно, и основаны на корректировке требуемого коэффициента жесткости в зависимости от

вероятности отказа дорожной конструкции, что позволяет повысить надежность автомобильных дорог и снизить воздействие на окружающую среду и человека;

3) в разработке конструктивных решений, которые могут быть использованы для устройства нежестких дорожных одежд повышенной надежности к совместным транспортным и климатическим воздействиям.

Положения, выносимые на защиту:

– установленные закономерности влияния транспортной нагрузки и укрепленных элементов обочин на дефектность дорожных покрытий, позволившие установить влияние данных факторов на надежность автомобильных дорог;

– дополненная методика проектирования нежестких дорожных одежд, которая учитывает фактическое распределение транспортного потока и суммарную ширину гидроизолирующих элементов дорожной конструкции, основанная на корректировке требуемого коэффициента жесткости по критерию упругого прогиба в зависимости от вероятности отказа дорожной конструкции, что позволяет повысить надежность автомобильных дорог, и снизить негативное воздействие на окружающую среду и человека;

– конструктивные решения нежестких дорожных одежд, которые могут применяться для повышения надежности к совместным транспортным и климатическим воздействиям;

– результаты производственной апробации разработанных рекомендаций по проектированию и устройству нежестких дорожных одежд повышенной надежности к совместным транспортным и климатическим воздействиям.

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 подтверждена филиалом ДЭУ № 5 РУП «Минскавтодор-Центр».

Опубликованность результатов диссертации. По результатам выполненных исследований опубликовано 35 работ, из них: 8 статей в рецензируемых научных журналах (объемом 6,2 а. л.), 21 публикация в сборниках докладов на международных и республиканских конференциях, 1 дорожный методический документ. Без соавторов опубликовано 20 работ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем работы составляет 221 страницу и включает: 94 страницы машинописного текста, 55 рисунков, 56 таблиц, 10 приложений. Библиографический список состоит из 164 наименований, из которых 35 авторских работ.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Во введении представлено обоснование актуальности темы работы, так как сегодня остро стоит задача совершенствования дорожной сети Республики Беларусь.

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. Причем неравномерность его распределения по ширине проезжей части закладывается исходя из критериев безопасности правилами дорожного движения не только в Республике Беларусь, но и в других государствах.

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

Климатические факторы влияют на водно-тепловой режим грунтов земляного полотна, изменения которого значительно сказываются на устойчивости земляного полотна и дорожной одежды.

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 2,0 %.

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 в., 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. Горельшова, В. Д. Казарновского, Б. С. Радовского, Г. Г. Тришина, Р. З. Порицкого, В. П. Корюкова и др. В результате 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 документах Беларуси, Украины, России, Казахстана, Узбекистана и других стран постсоветского пространства благодаря работам таких ученых, как В. А. Веренько, 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 нежестких дорожных одежд, и тем более отсутствуют расчеты на совместное воздействие транс-

портной нагрузки и климатических факторов. Это характерно не только для отечественных методик, но и для зарубежных, что свидетельствует о необходимости дальнейшего совершенствования существующей методики проектирования нежестких дорожных одежд.

В Республике Беларусь при проектировании дорожных одежд используются положения теории надежности. При этом основным критерием является так называемый коэффициент надежности P , который определяется по формуле

$$P = 1 - \frac{F_P}{F_O}, \quad (1)$$

где F_P – площадь покрытия дорожной одежды, имеющая недопустимые деформации или разрушения на конец срока службы, м²;

F_O – общая площадь дорожной одежды, м².

Однако известно, что надежность характеризуется в том числе вероятностью безотказной работы P_{suc} , которую можно найти из выражения

$$P_{suc} = 1 - P_{fail}, \quad (2)$$

где P_{fail} – вероятность (риск) отказа.

Профессор В. В. Столяров предлагает считать риск разрушения r_T качественной инженерной характеристикой конструктивного элемента дороги и сооружения, который можно найти по формуле

$$r_T = \frac{n_T}{N_T}, \quad (3)$$

где n_T – площадь разрушенной части конструкции или элемента дороги за период T , м²;

N_T – общая площадь конструкции или элемента дороги, м².

Таким образом, коэффициент надежности, определяемый по формуле (1), представляет собой ни что иное, как вероятность безотказной работы дорожной одежды.

Таким образом, это позволило сформулировать задачи исследования.

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 разным

сроком службы, расположенные во всех дорожно-климатических районах Республики Беларусь. Это позволило достоверно оценить воздействие от транспортной нагрузки и климатических факторов.

Воздействие транспортного потока на дорожные покрытия оценивалось по его интенсивности. Учет интенсивности транспортного потока выполнялся по ГОСТ 32965–2014 «Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока» для каждой полосы визуально 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 (таблица 1), которые в Республике Беларусь значительно выше нормативных (таблица 2), установленных ТКП 45-3.03-112-2008 «Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования», и изменяются в широких пределах, что свидетельствует о существенной перегрузке дорожных конструкций на первых полосах движения и приводит к интенсификации процессов их разрушения, причем значения коэффициентов Российской Федерации попадают в полученный интервал. Кроме того, такой интервал показывает, что изменение коэффициентов распределения транспортного потока не эффективно.

Таблица 1 – Фактические коэффициенты распределения транспортного потока по полосам движения $f_{\text{факт}}$

Число полос движения	Номер полосы движения		
	1-я	2-я	3-я
4	0,457 ± 0,032	0,043 ± 0,009	–
6	0,331 ± 0,028	0,168 ± 0,019	0,00084 ± 0,00014

Таблица 2 – Нормативные коэффициенты распределения транспортного потока по полосам движения $f_{\text{факт}}$

Страна	Число полос движения	Значение коэффициента $f_{\text{пол}}$ для полосы		
		1	2	3
Беларусь	4	0,35	0,20	–
	6	0,20	0,20	0,15
Россия	4	0,45	–	–
	6	0,35	–	–

Оценка транспортно-эксплуатационного состояния дорожных покрытий проводилась по прочности, ровности и дефектности дорожных покрытий.

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 первые полосы движения многополосных дорог имеют жесткость меньше, чем остальные (рисунок 2).

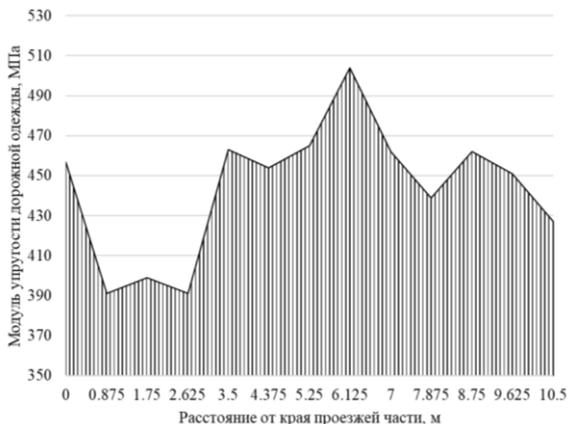


Рисунок 2 – Изменение модуля упругости дорожной одежды на автомобильной дороге Р-1 Минск – Дзержинск (км 23,200, прямое направление)

Ровность дорожных покрытий на первых полосах также значительно хуже (рис. 3).



Рисунок 3 – Пример изменения ровности на автомобильной дороге М-4 Минск – Могилёв (км 17,000, обратное направление)

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

Дефектность покрытия (ДП) определялась по методике, изложенной в ТКП 140–2015 «Автомобильные дороги. Порядок выполнения диагностики».

Для выделения дефектности от климатических факторов из общей дефектности покрытия необходимо было исключить воздействие транспортной нагрузки. Для этого были детально диагностированы по дефектности полосы движения автомобильной дороги, с их разбивкой по сегментам относительно оси полосы движения (рисунок 4).

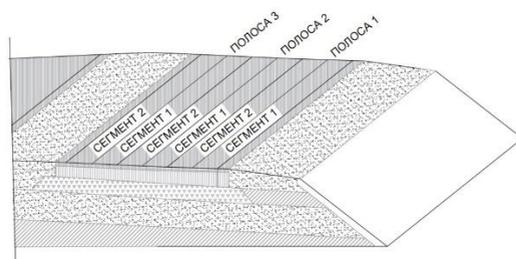


Рисунок 4 – Схема к определению уровня дефектности покрытия

Соотношение дефектностей Δ , которое показывает, как изменяется дефектность сегментов от воздействия климатических факторов, определяется по формуле

$$\Delta = \frac{S_{11}}{S_{12}}, \quad (4)$$

где S_{11} – расчетная площадь дефектности правого сегмента участка, м²;

S_{12} – расчетная площадь дефектности левого сегмента участка, м².

Для получения репрезентативных данных определен минимальный объем выборки, для чего было проведено пилотажное исследование в первом дорожно-климатическом районе. Величина минимального объема выборки для каждого дорожно-климатического района составляет для дорог с укрепленной полосой обочины 111 участков, а с остановочной полосой обочины – 34 участка.

Схема размещения исследуемых участков представлена на рисунке 5.

Для анализа воздействия климатических факторов была использована суммарная ширина Y 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). Значение данного показателя исчисляется от правого края рассматриваемой полосы движения в направлении бровки обочины.

Были построены графики рассеяния соотношения дефектностей Δ правого и левого сегментов полосы от фактического срока службы T для каждого дорожно-климатического района (ДКР) с учетом суммарной ширины гидроизоляции Υ и выполнен регрессионный анализ. По результатам анализа принята экспоненциальная модель как наиболее адекватно описывающая процессы. Пример графика представлен на рисунке 6.

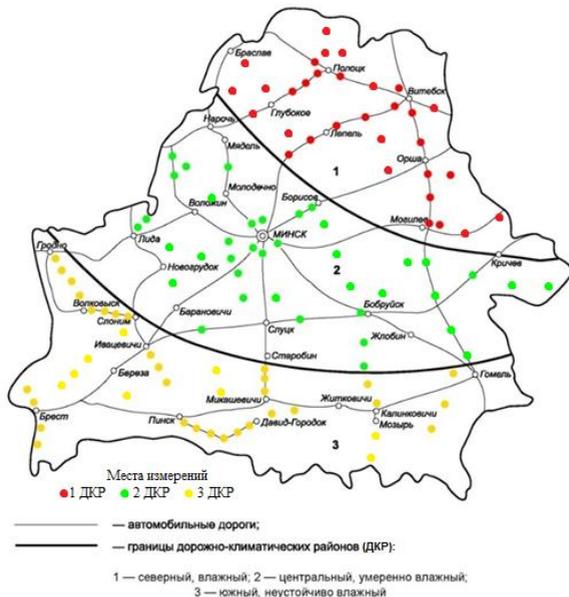


Рисунок 5 – Схема расположения исследуемых участков



Рисунок 6 – Пример регрессионной модели изменения соотношения дефектностей сегментов полос движения от сроков службы

С использованием полученных регрессионных моделей построены графики соотношения дефектностей Δ правого и левого сегментов полосы от фактического срока службы T для каждого дорожно-климатического района с учетом суммарной ширины гидроизоляции Υ , представленные на рисунке 7.

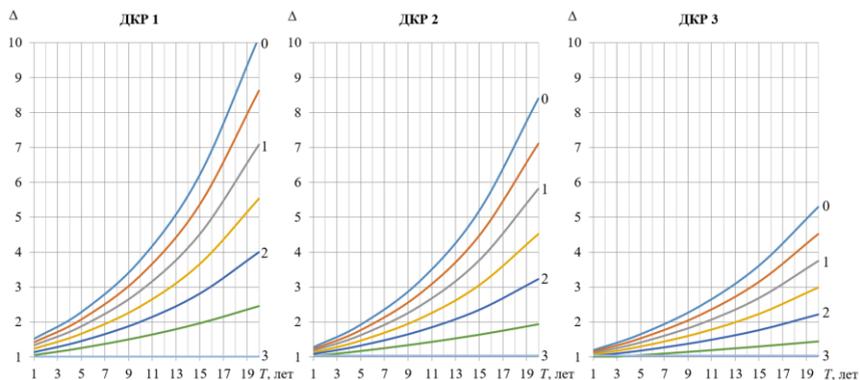


Рисунок 7 – Зависимость дефектностей правого и левого сегмента полосы Δ от срока службы T (на кривых значение суммарной ширины гидроизоляции Υ указано в метрах)

Анализ графиков, представленных на рисунке 7, показывает, что увеличение суммарной ширины гидроизоляции Υ существенно снижает влияние климатических факторов на надежность дорожной конструкции на различных полосах движения.

С использованием принятых регрессионных моделей была определена вероятность отказа дорожной конструкции от воздействия климатических факторов (рисунок 8) как соотношение доли дефектов правого сегмента первой полосы к сумме долей дефектности для проезжей части.

Для исследования влияния транспортной нагрузки были детально проанализированы данные по дефектности покрытий многополосных дорог и характеристики транспортного потока.

Значение дефектности от воздействия транспортной нагрузки было получено вычитанием из общей дефектности величины дефектов от воздействия климатических факторов на дорожную конструкцию.

По полученным значениям долей дефектности были построены графики рассеяния соотношений дефектностей, вызванных воздействием транспортной нагрузки от интенсивности движения автомобилей, приведенных к расчетному, а также выполнен регрессионный анализ (рисунок 9). По результатам регрессионного анализа выбрана логарифмическая модель как наиболее достоверная.

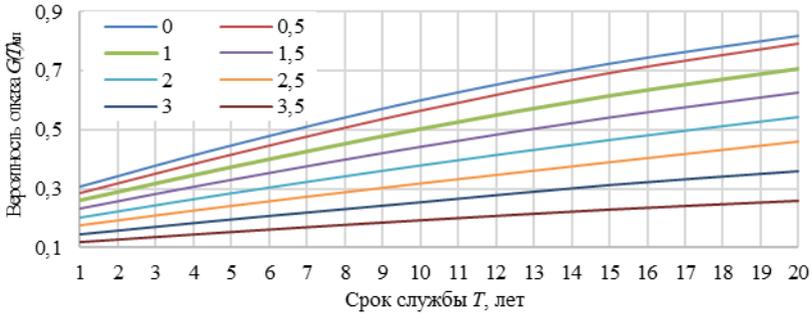


Рисунок 8 – Пример графика для определения вероятности отказа дорожной конструкции от воздействия климатических факторов

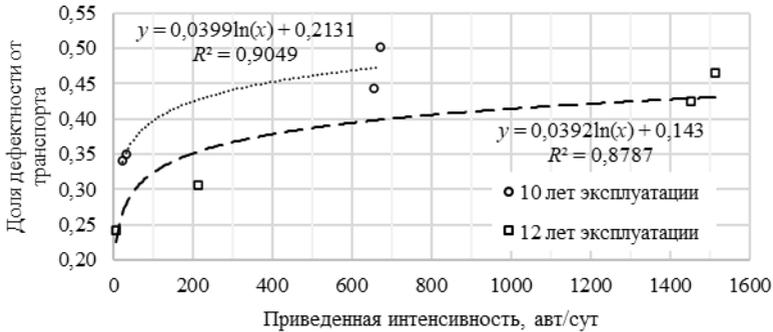


Рисунок 9 – Пример регрессионной модели зависимости доли дефектности от воздействия транспорта и интенсивности движения автомобилей, приведенных к расчетному

По полученным регрессионным моделям определены значения дефектностей при различной интенсивности движения автомобилей, приведенных к расчетному и нанесенные на график (рисунок 10), который является зависимостью вероятности отказа (доли дефектности) от воздействия транспортной нагрузки.

В третьей главе разработаны дополнения к методике проектирования нежестких дорожных одежд, которые обеспечивают повышенную надежность к совместному воздействию транспортной нагрузки и климатических факторов.

Вероятность безотказной работы может быть определена с использованием индекса надежности, который, исходя из того, что основным критерием расчета дорожных одежд является жесткость, можно определить по формуле

$$\beta = \frac{\bar{g}}{S_g}, \quad (5)$$

где \bar{g} – резерв несущей способности, МПа;
 S_g – среднеквадратичное отклонение.

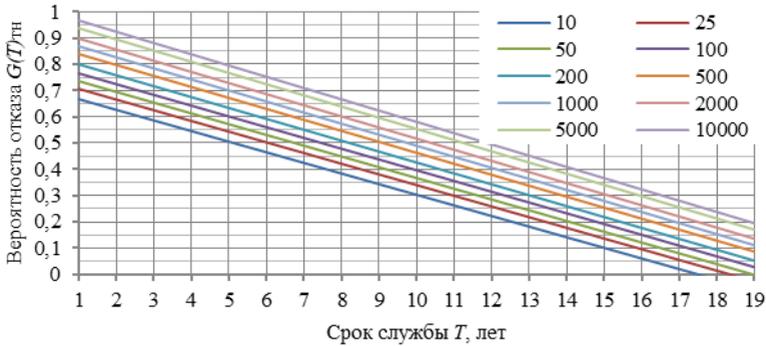


Рисунок 10 – Вероятность отказа полосы при воздействии транспорта (на графике указана приведенная к расчетному автомобилю интенсивность движения, авт./сут)

Резерв несущей способности определяется как разность общего \bar{E}_p и требуемого $\bar{E}_{тр}$ модулей упругости дорожной одежды по формуле

$$\bar{g} = \bar{E}_p - \bar{E}_{тр}. \quad (6)$$

Среднеквадратичное отклонение, с учетом коэффициентов вариации, можно определить следующим образом

$$S_g = \sqrt{(C_{E_p} \bar{E}_p)^2 + (C_{E_{тр}} \bar{E}_{тр})^2}, \quad (7)$$

где C_{E_p} и $C_{E_{тр}}$ – коэффициенты вариации общего и требуемого модулей упругости.

Если принять, что коэффициенты вариации модулей упругости равны, а также коэффициент жесткости по критерию упругого прогиба равен

$$K_{пр} = \frac{E_p}{E_{тр}}, \quad (8)$$

то формула для нахождения индекса надежности примет вид

$$\beta = \frac{K_{\text{пр}}^{-1}}{C_E \sqrt{K_{\text{пр}}^2 + 1}}, \quad (9)$$

где C_E – коэффициент вариации модуля упругости.

Таким образом видно, что коэффициент жесткости дорожной одежды оказывает влияние на ее надежность.

Так как воздействие климатических факторов и транспортной нагрузки являются независимыми событиями, то вероятность отказа дорожной одежды от совместного воздействия названных факторов $G(T)^\Phi$, учитывая теорему об умножении вероятностей, можно записать следующим образом

$$G(T)^\Phi = G(T)_{\text{КЛ}} \cdot G(T)_{\text{ТН}}, \quad (10)$$

где $G(T)_{\text{КЛ}}$ – вероятность отказа полосы движения от воздействия климатических факторов, определяемая по номограммам, пример которых представлен на рисунке 8 в зависимости от числа полос движения и дорожно-климатического района;

$G(T)_{\text{ТН}}$ – вероятность отказа полосы движения от воздействия транспортной нагрузки (определяется по рисунку 10).

Если коэффициент жесткости, принимаемый по ТКП 45-3.03-112, обеспечивает вероятность отказа, полученную по формуле (10), то для гарантии вероятности безотказной работы, соответствующей сроку службы, установленному заказчиком, коэффициент жесткости определяют по формуле

$$K_{\text{пр}}^{\text{тр}} = \frac{K_{\text{пр}}^{\text{н}} \cdot P(T)^{\text{н}}}{1 - G(T)^\Phi}, \quad (11)$$

где $K_{\text{пр}}^{\text{н}}$ – нормативный коэффициент жесткости, определяемый по таблицам ТКП 45-3.03-112 как коэффициент прочности по упругому прогибу;

$P(T)^{\text{н}}$ – нормативная вероятность безотказной работы, определяемая по таблицам ТКП 45-3.03-112 как коэффициент надежности в зависимости от категории дороги, типа дорожной одежды и срока службы.

Разработанная методика не изменяет, а дополняет существующие принципы проектирования дорожных одежд. Главное отличие при проектировании заключается в том, что заданием на проектирование определяется срок службы дорожных покрытий, для которого по существующим нормативам устанавливается вероятность безотказной работы. По параметрам дорожного полотна и транспортного потока определяется вероятность отказа от воздействия каждого фактора в отдельности, а после их перемножения – от совместного воздействия.

При проектировании дорожной одежды применяется критерий жесткости по допускаемому упругому прогибу, так как он отражает комплексную способность конструкции быть устойчивой к возникновению дефектов различного типа (силовых, усталостных и пластических разрушений).

При необходимости в процессе проектирования дорожных одежд повышенной надежности к совместным транспортным и климатическим воздействиям можно использовать следующие конструктивные решения:

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

Снижение воздействия климатических факторов осуществляется путем увеличения суммарной ширины гидроизоляции Y .

При использовании любого из решений проектное значение коэффициента вариации по жесткости для всей ширины проезжей части не должно превышать 0,10.

Если невозможно обеспечить коэффициент жесткости, полученный по формуле (11) перечисленными методами, или это неэкономично, переходят от нежестких дорожных одежд к жестким.

В четвертой 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 в филиале КУП «Минскоблдорстрой» – «Облдорпроект».

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

Принятая конструкция с переменной толщиной слоев с учетом предложенных рекомендаций представлена на рисунке 11.

Для оценки эффективности проектного решения были использованы принципы устойчивого развития и ESG-принципы, включающие в себя вопросы финансового характера, а также вопросы комфорта и безопасности участников дорожного движения и дорожных рабочих, экологическую составляющую.

Одним из критериев выбора конструкций нежестких дорожных одежд предложена продолжительность весенних ограничений, которая существенно влияет на экономические процессы государства.

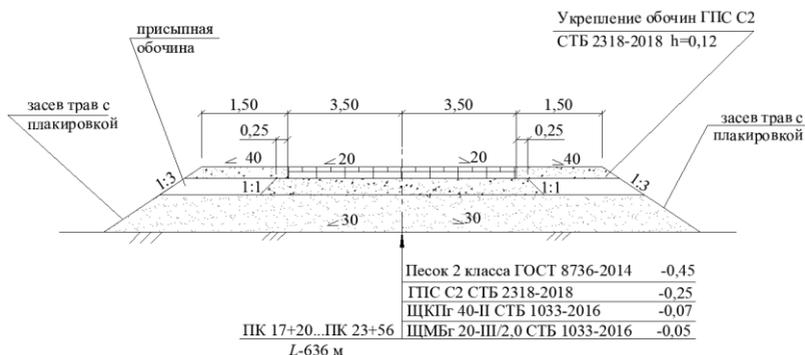


Рисунок 11 – Принятая конструкция дорожной одежды

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

Таким образом, принятая конструкция дорожной одежды позволит обеспечить срок службы дорожного покрытия не менее 9 лет. Сроки весенних ограничений будут составлять до 3 сут, что значительно меньше, чем критическое значение для экономических процессов, равное 10 сут, что соответствует базовой конструкции. Удорожание материалов составляет 17,6 %, при этом чистый дисконтированный доход на протяжении жизненного цикла составляет 235 тыс. руб с внутренней нормой доходности 25,3 %. Исходя из этого, принятую конструкцию можно считать эффективной.

Работы по строительству автомобильной дороги Н-9071 Лецковщина – Прилуки Минского района осуществлялись в августе – декабре 2024 г. филиалом КУП «Минскоблдорстрой» – «ДРСУ № 735».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработаны научно-практические основы проектирования и устройства нежестких дорожных одежд повышенной надежности к совместным транспортным и климатическим воздействиям [1–35].

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 – суммарная ширина элементов дорожной конструкции, выполняющих роль гидроизоляции, причем их влияние изменяется во времени: в начале эксплуатации дефектность главным образом формируется под влиянием транспортной нагрузки, а затем возрастает воздействие климатических факторов [2, 3, 6, 10–13, 17].

3. Разработана методика учета транспортной нагрузки и климатических факторов при расчете на прочность нежестких дорожных одежд, основанная на корректировке требуемого коэффициента жесткости с учетом фактического распределения транспортного потока по полосам движения и суммарной ширины гидроизолирующих элементов, что позволяет увеличить период эксплуатации дорожных одежд и обеспечить нормативный срок службы дорожных одежд [8].

4. Разработана методика проектирования дорожных одежд с дифференцированной прочностью по ширине проезжей части, что позволяет обеспечить срок службы дорожных одежд равным по всей ее ширине [4, 16, 35].

5. Разработаны конструкции нежестких дорожных одежд повышенной устойчивости к совместным транспортным и климатическим воздействиям, позволяющие устраивать дорожные одежды с дифференцированной прочностью по ширине проезжей части, соответствующей фактическому их воздействию, обеспечивая при этом рациональное использование материалов конструктивных слоев, а также конструктивное и технологическое решение по увеличению суммарной ширины гидроизолирующих элементов, которое позволяет снизить разрушающее воздействие климатических факторов как при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте автомобильных дорог, так и на стадии их содержания [1, 4, 11, 19, 25, 27, 32–35].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты диссертационного исследования рекомендуются к практическому использованию:

– организациям, осуществляющим проектирование автомобильных дорог, для обоснования типа дорожных одежд (жесткие или нежесткие) при разработке предпроектной документации по строительству или реконструкции автомобильных дорог;

– организациям, осуществляющим проектирование автомобильных дорог, при разработке проектов строительства, реконструкции или капитального ремонта, предполагающих устройство нежестких дорожных одежд с покрытиями из асфальтобетона;

– дорожно-эксплуатационным, дорожно-строительным и дорожно-ремонтно-строительным организациям для уменьшения влияния клима-

тических воздействий на участки автомобильных дорог, на которых наблюдаются проблемы с водоотведением влаги с покрытия и обочины (вогнутые кривые);

– организациям, осуществляющим разработку технических нормативных правовых актов, для гармонизации используемых терминологии и методик с общетехническими дисциплинами.

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, connected strokes. The signature is positioned to the right of the main text block.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Монографии

1. Усталостная долговечность дорожных асфальтобетонов: проблемы и пути решения / С. Е. Кравченко, Е. М. Жуковский, А. В. Ладышев, Е. П. Ходан, Д. Г. Игошкин. – 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, А. В. Ладышев, А. В. Корончик, С. Е. Кравченко // Автомобильные дороги и мосты. – 2021. – № 2. – С. 14–23.

3. Влияние укрепленных элементов обочин на изменение дефектности по ширине дорожных покрытий / Е. М. Жуковский, А. В. Ладышев, А. В. Корончик, С. Е. Кравченко // 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.

6. Жуковский Е. М. Аналитический обзор методов проектирования нежестких дорожных одежд для оценки их эффективности в современной практике // Вестник гражданских инженеров. – 2023. – № 6 (101). – С. 100–109.

7. Жуковский Е. М. Устройство гидроизоляции на стыке обочины и покрытия автомобильной дороги // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2024. – № 2. – С. 33–35.

8. Жуковский Е. М. Обеспечение надежности автомобильных дорог с нежесткими дорожными одеждами на стадии проектирования // Автомобильные дороги и мосты. – 2024. – № 2. – С. 15–24.

9. Жуковский Е. М., Цеван И. А., Кравченко С. Е. Оценка проектных решений нежестких дорожных одежд на основе снижения сроков весенних ограничений на автомобильных дорогах в условиях Республики Беларусь // Автомобильные дороги и мосты. – 2024. – № 2. – С. 36–46.

Материалы конференций

10. Жуковский Е. М., Кравченко С. Е., Помахо П. С. Особенности структурообразования вновь устроенных асфальтобетонных покрытий под воздействием транспортной нагрузки // Дорожное строительство и его ин-

женерное обеспечение: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2020. – С. 52–60.

11. 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.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

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

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. Жуковский Е. М. Дорожное строительство и устойчивое развитие: проблемы и перспективы // Архитектурно-строительный и дорожно-транспортный комплексы: проблемы, перспективы, инновации: сб. материалов VII Междунар. науч.-практ. конф., приуроч. к проведению в Рос. Федерации Десятилетия науки и технологий, Омск, 24–25 нояб. 2022 г. / Сиб. гос. автомобильно-дорож. ун-т (СИБАДИ). – Омск, 2022. – С. 355–358.

22. Жуковский Е. М. К вопросу ответственного финансирования дорожного строительства // Архитектура финансов: устойчивое развитие и ответственное финансирование в эпоху глобальных изменений: сб. материалов XII Междунар. науч.-практ. конф., С.-Петербург, 15–17 нояб. 2022 г. / С.-Петербург. гос. экон. ун-т. – СПб., 2022. – С. 107–110.

23. 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.

24. Жуковский Е. М. К вопросу оценки эмиссии загрязняющих веществ в процессе эксплуатации автомобильных дорог // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. / Белорус.-Рос. ун-т. – Могилев, 2023. – С. 263–264.

25. 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.

26. Жуковский Е. М. Регулирование сроков весенних ограничений на автомобильных дорогах с нежесткими дорожными одедами // 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.

27. 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.

28. Жуковский, Е. М. Развитие методов проектирования нежестких дорожных одежд // Инновационное развитие транспортного и строительного

комплексов: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию БелИИЖТа – БелГУТа: в 2 ч., Гомель, 16–17 нояб. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта. – Гомель, 2023. – С. 387–389.

29. Жуковский Е. М. Оценка воздействия на окружающую среду автомобильной дороги с разнопрочной дорожной одеждой // Инженерные системы и городское хозяйство: материалы Нац. (всерос.) науч.-практ. конф., С.-Петербург, 20–24 марта 2023 г. – СПб.: С.-Петерб. гос. архитектурно-строит. ун-т, 2023. – С. 210–213.

30. Жуковский Е. М. Оценка прочности дорожных покрытий по ширине проезжей части // Проблемы безопасности на транспорте: материалы XIII междунар. науч.-практ. конф., посвящ. Году качества: в 2 ч., Гомель, 21–22 нояб. 2024 г. / Белорус. гос. ун-т транспорта – Гомель, 2024. – С. 311–312.

Тезисы

31. 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.

32. 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

33. ВУ 13145 U, 2023.

34. ВУ 13244 U, 2023.

Другое

35. 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 павялічынай надзейнасці к сумесным транспартным і кліматычным уздзеянням

Ключавыя словы: дарожнае адзенне, надзейнасць, дэфекты дарожнага пакрыцця, транспартная нагрузка, кліматычныя фактары

Аб'ект даследвання: няжорсткае дарожнае адзенне аўтамабільных дарог.

Прадмет даследвання: параметры транспартна-эксплуатацыйнага стану няжорсткага дарожнага адзення.

Мэта работы: распрацоўка і выкарыстанне рэкамендацый па праектаванню і ўладкаванню няжорсткага дарожнага адзення з павышанай надзейнасцю к сумесным транспартным і кліматычным уздзеянням.

Метады даследванняў і апаратура. Даследванне транспартна-эксплуатацыйнага стану дарожных пакрыццяў праводзіліся з выкарыстаннем сістэмы дынамічнага ўзважвання, дэфлектметра падаючага грузу PRIMAX 1500 FWD, а таксама візуальна з відэафіксацыяй. Апрацоўка атрыманых вынікаў, матэматычныя разлікі і статыстычная апрацоўка здзяняліся з выкарыстаннем вылічальнай тэхнікі і сучасных кампутарных праграм.

Навуковая навізна атрыманых вынікаў. Прапанавана дапоўненая метадыка праектавання дарожных адзенняў павялічынай надзейнасці к сумесным транспартным і кліматычным уздзеянням, якая ўлічвае размеркаванне транспартнага патоку па праезнай частцы і сумарную шырыню гідраізаліруючых элементаў дарожнай канструкцыі, заснаваная на карэкціроўцы патрабаванага каэфіцыента жорскаці па крытэрыю пругкага прагіну ў залежнасці ад верагоднасці спраўнай работы дарожнага адзення, што дазваляе павялічыць надзейнасць аўтамабільных дарог і паменшыць негатыўнае ўздзеянне на наваколле і чалавека.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Назначэнне каэфіцыента жорскаці па крытэрыю пругкага прагіну ў залежнасці ад велічынь фактычных разбуральных уздзеянняў, што дазваляе павялічыць надзейнасць аўтамабільных дарог.

Вобласць прымянення. Пры распрацоўцы праектнай дакументацыі па праектаванню будаўніцтва, рэканструкцыі ці капітальнага рамонту аўтамабільных дарог, абгрунтаванні прынятых праектных рашэнняў.

РЕЗЮМЕ

Жуковский Егор Михайлович

Нежесткие дорожные одежды повышенной надежности к совместным транспортным и климатическим воздействиям

Ключевые слова: дорожная одежда, надежность, дефекты дорожного покрытия, транспортная нагрузка, климатические факторы

Объект исследования: нежесткая дорожная одежда автомобильных дорог.

Предмет исследования: параметры транспортно-эксплуатационного состояния нежестких дорожных одежд.

Цель работы: разработка и использование рекомендаций по проектированию и устройству нежестких дорожных одежд повышенной надежности к совместным транспортным и климатическим воздействиям.

Методы исследования и аппаратура. Исследование транспортно-эксплуатационного состояния дорожных покрытий проводилось с помощью системы динамического взвешивания, дефлектометра падающего груза PRIMAX 1500 FWD, а также визуально с видеофиксацией. Обработка полученных результатов, математические расчеты и статистическая обработка проводились с использованием вычислительной техники и современных компьютерных программ.

Научная новизна полученных результатов. Предложена дополненная методика проектирования дорожных одежд повышенной надежности к совместным транспортным и климатическим воздействиям, учитывающей распределение транспортного потока по проезжей части и суммарную ширину гидроизолирующих элементов дорожной конструкции, основанной на корректировке требуемого коэффициента жесткости по критерию упругого прогиба в зависимости от вероятности безотказной работы дорожной одежды, что позволяет повысить надежность автомобильных дорог и снизить негативное воздействие на окружающую среду и человека.

Рекомендации по использованию. Назначение коэффициента жесткости по критерию упругого прогиба в зависимости от значений фактических разрушающих воздействий, что позволит повысить надежность автомобильной дороги.

Область применения. При разработке проектной документации по проектированию строительства, реконструкции или капитального ремонта автомобильных дорог, обосновании принятых проектных решений.

SUMMARY

Yahor Zhukouski

Flexible road pavement with increased reliability against combined transport and climatic influences

Key words: road pavement, reliability, road surface defects, 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.

The purpose of dissertation: development and use of recommendations for the design and construction of flexible road pavement with increased reliability against combined transport and climatic influences.

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 PRIMAX 1500 FWD falling load deflectometer, and visually with video recording. The processing of the obtained results, mathematical calculations and statistical processing were carried out using computer technology and modern computer programs.

Scientific innovation of findings. An expanded methodology for designing road pavement with increased reliability against combined transport and climatic impacts is proposed, taking into account the distribution of traffic flow along the roadway and the total width of the waterproofing elements of the road structure, based on adjusting the required stiffness coefficient according to the elastic deflection criterion depending on the probability of failure-free operation of the road pavement, which makes it possible to increase the reliability of highways and reduce the negative impact on the environment and humans.

Recommendations for use. Assignment of the rigidity coefficient according to the elastic deflection criterion depending on the values of actual destructive effects, which will improve the reliability of the road.

Field of application. When developing design documentation for the design of construction, reconstruction or major repairs of highways, substantiating the adopted design decisions.

Научное издание

ЖУКОВСКИЙ
Егор Михайлович

**НЕЖЕСТКИЕ ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ ПОВЫШЕННОЙ
НАДЕЖНОСТИ К СОВМЕСТНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ
И КЛИМАТИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ**

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

В авторской редакции

Подписано в печать 04.03.2025. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Цифровая печать.

Усл. печ. л. 1,51. Уч.-изд. л. 1,35. Тираж 60. Заказ 96.

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.

ЛИСТ ИСПРАВЛЕНИЙ

в автореферат диссертации Жуковского Егора Михайловича
«Нежесткие дорожные одежды повышенной надежности к совместным
транспортным и климатическим воздействиям»
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.23.11 - проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов,
мостов и транспортных тоннелей

Стр.	Расположение опечатки	Напечатано	Следует читать
Стр. 13	Рис.10 (название)	Рисунок 10 – Вероятность отказа полосы ...	Рисунок 10 – Вероятность безотказной работы полосы ...
Стр. 13	Рис. 10 (ось абсцисс)	Вероятность отказа $G(T)_{тн}$	Вероятность безотказной работы $P(T)_{тн}$

Соискатель



Е.М. Жуковский

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 02.05.05,
к.т.н., доцент



Т. А. Чистова