

DOI: [10.34220/2311-8873-2023-87-96](https://doi.org/10.34220/2311-8873-2023-87-96)



УДК 625.7

UDC 625.7

2.9.5 – эксплуатация автомобильного транспорта

СОЗДАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ КАК ЭФФЕКТИВНОГО ИНСТРУМЕНТА ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГАХ

CREATION OF CONDITION MANAGEMENT SYSTEMS FOR ROAD STRUCTURES AS AN EFFECTIVE TOOL FOR INCREASING TRAFFIC SAFETY ON ROADS

✉¹ **Гнездилова Светлана Александровна**, к.т.н., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород, e-mail: gnezdilka@yandex.ru

✉¹ **Gnezdilova Svetlana Alexandrovna**, candidate of technical sciences, Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod, e-mail: gnezdilka@yandex.ru

Гричаников Владимир Александрович, к.т.н., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород.

Grichanikov Vladimir Alexandrovich, candidate of technical sciences, Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod.

Погромский Алексей Сергеевич, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород.

Pogromsky Alexey Sergeevich, Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod.

Лукаш Евгений Алексеевич, к.т.н., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород.

Lukash Evgeny Alekseevich, candidate of technical sciences, Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod.

Акимов Андрей Евгеньевич, к.т.н., Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г. Белгород.

Akimov Andrey Evgenievich, candidate of technical sciences, Belgorod state technological university named after V.G. Shukhov, Belgorod.

Аннотация. В статье рассмотрены основные аспекты управления состоянием дорожных одежд, как ключевого фактора, влияющего на безопасность движения по автомобильным дорогам, отмечена важность исследования работоспособности и прогнозирования сроков службы дорожных конструкций. В статье показана необходимость проведения исследований по количественной оценке интенсивности изме-

Annotation. The article discusses the main aspects of managing the condition of road pavements, as a key factor influencing the safety of traffic on roads, and notes the importance of studying the performance and predicting the service life of road structures. The article shows the need to conduct research to quantify the intensity of changes in transport and operational indicators and factors affecting the condition of road structures, traffic safety, and analyzes the main groups

нения транспортно-эксплуатационных показателей и факторов, влияющих на состояние дорожных конструкций, безопасность движения, проанализированы основные группы методов и систем, используемых для управления состоянием дорожных одежд. В настоящее время назрела необходимость в исследованиях, направленных на оценку определение работоспособности дорожных конструкций с целью эффективной оценки проектных решений, качества строительства и текущих мероприятий, по повышению безопасности движения в рамках содержания и ремонта автомобильных дорог.

Ключевые слова: УПРАВЛЕНИЕ СОСТОЯНИЕМ ДОРОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ, БЕЗОПАСНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ, МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ, ПЛАНИРОВАНИЕ.

of methods and systems used to manage the condition of road pavements. Currently, there is a need for research aimed at assessing the performance of road structures in order to effectively evaluate design decisions, construction quality and ongoing activities to improve traffic safety as part of the maintenance and repair of roads.

Keywords: CONDITION MANAGEMENT OF ROAD STRUCTURES, FORECASTING MODELS, TRANSPORT AND OPERATIONAL INDICATORS, PLANNING.

¹ Автор для ведения переписки

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Уже давно автомобильные дороги стали неотъемлемым элементом жизни общества. Состояние и протяжённость дорожной сети в стране непосредственно влияют на деятельность человека в частности и государства в целом (на развитие науки и техники, на рост промышленности и сельского хозяйства) и закрывают базовые потребности общества в части безопасности движения по автомобильным дорогам. При этом на государство ложится задача обеспечения бесперебойного и безопасного движения транспортных средств по автомобильным дорогам Российской Федерации, планирования и развития дорожной сети, модернизации дорожно-строительной отрасли [1].

В 2019 году стартовал национальный проект «Безопасные и качественные автомобильные дороги» (утвержден президиумом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам, протокол от 24.12.2018 г №15), где в качестве основного целевого индикатора определено улучшение транспортной инфраструктуры и приведение автомобильных дорог как федерального, так областного и местного значения в соответствие с нормативными требованиями, что позволит повысить качество жизни населения различных агломераций.

Проект реализуется в 84 регионах страны. В рамках проекта применяются современные технологии и материалы, внедряются интеллектуальные транспортные системы, что позволило на государственном уровне закрепить увеличение межремонтных сроков [2].

По данным федеральной службы государственной статистики протяжённость автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием в Российской Федерации составляла на конец 2022 года примерно 1115 тыс. км. При этом наблюдается чёткая тенденция снижения темпов нового строительства, в пользу проведения ремонтных работ. За период в десять лет, с 2012 по 2021 год, протяжённость сети автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием выросла почти на 380 тыс. км, из которых за последние пять лет (2017-2021 гг) построено только 53669,4 км.

Основываясь на вышеизложенном, особую актуальность приобретает направление по разработке и внедрению моделей и систем управления для эффективного использования, содержания и ремонта существующего дорожного фонда, что должно благоприятно повлиять на безопасность дорожного движения, сократить расходы на ремонт и содержание дорог за счёт оптимизации и применения новых технологий, использования инновационных материалов, увеличения сроков службы автомобильных дорог.

2 Материалы и методы

Для обеспечения безопасного, комфортного и бесперебойного движения транспортных средств по автомобильным дорогам с расчётными скоростями необходимо поддерживать транспортно-эксплуатационные показатели дорожных конструкций в пределах нормативных требований. При этом состояние дороги напрямую зависит от состояния дорожной одежды и земляного полотна. Наблюдение за этими элементами для своевременного выявления дефектов и назначения мероприятий по их устранению – важная часть работы дорожников. Долгое время единственным подходом её реализации было принятие решений о том или ином виде ремонтных работ на основании данных о фактическом состоянии дороги, полученных в результате периодических осмотров [3].

Однако, стремительное увеличение количества транспортных средств, улучшение их динамических характеристик, рост нагрузок на дороги, поставило перед дорожниками задачу по поиску наиболее технически и экономически эффективных путей повышения безопасности движения за счет управления содержанием и ремонтом дорожного фонда.

Для решения данной задачи многие зарубежные страны уже на протяжении достаточно продолжительного периода используют системы управления состоянием дорожных конструкций. В России также встречаются подобные разработки, но широкого применения они не получили до сих пор [4].

Выходные данные систем управления дорожными конструкциями могут использоваться при принятии решений проектными организациями, для оценки и контроля качества в процессе строительства и на приёмочных испытаниях, но наибольшую значимость они приобретают при планировании ремонтных работ и оценке выбранных методов ремонта, а также эффективности содержания автодорог [3].

Анализ различных систем управления состоянием дорожных конструкций позволяет выделить в их структуре четыре основных компонента (рис. 1): инвентаризация сети, оценка текущего состояния конструкции, применение моделей прогнозирования состояния в процессе эксплуатации, планирование и оценка экономической эффективности принятых решений на основе результатов моделирования и прогнозирования [5].



Рисунок 1 – Структура системы управления состоянием дорожных конструкций

Процесс инвентаризации сети связан с разбивкой дорог, входящих в её состав, на участки, схожие между собой. При этом могут учитываться от одного до нескольких факторов, которые будут влиять на работу дорожной одежды и земляного полотна, а также внешние факторы. Например, конструкция дорожной одежды, высота насыпи земляного полотна, интенсивность движения и нагрузка от транспортного потока, исходное состояние на момент начала наблюдений. Если сеть дорог имеет широкую географию, то к факторам необходимо добавить климатические и погодные условия.

Оценка состояния конструкций, в первую очередь, подразумевает сбор информации. Данные могут быть получены как визуальным обследованием, так и с применением лабораторно-диагностических систем и инструментальных измерений. Перечень определяемых показателей зависит от назначения системы управления и используемых в ней моделей прогнозирования и оценки. Их можно разделить на две группы: характеризующие функциональное (сцепление колеса с дорогой, ровность, наличие колеи, наличие дефектов на покрытии и др.) и структурное (деформативные характеристики) состояние.

Сложность сбора информации заключается в том, что протяжённость сети дорог как правило велика, при этом определение некоторых показателей ограничено техническими возможностями. Например, упругий прогиб, даже при наличии современного оборудования для оценки прочностных параметров дороги, измеряется по устаревшим нормативам не чаще одного раза в 5-7 лет [6].

Выход из данной ситуации может быть найден несколькими путями:

- создание баз данных на основе мониторинга контрольных участков в процессе эксплуатации с прогнозированием состояния остальной сети дорог по полученным на них данным;
- строительство специализированных полигонов и стендов для ускоренных испытаний дорожных конструкций в различных условиях;
- разработка и внедрение технических средств (зондов), использование которых позволит собирать информацию по наблюдаемым параметрам в автоматизированном режиме, без непосредственного участия человека, взамен менее производительных приборов (установки ударного нагружения, дефлектометры, георадары) [7];
- введение новых параметров, определение которых не так затруднительно, и определение зависимостей между их значениями, прочностными показателями и характеристиками состояния автомобильных дорог [6, 8, 9].

Обработанная с помощью ЭВМ информация систематизируется и связывается с текущим эксплуатационным состоянием для дальнейшего использования. По измеренным показателям на основе действующей нормативной документации происходит оценка состояния дорожных конструкций. В то же время к базам, составляемым по полученным данным, добавляется статистика по метеорологическим, природно-климатическим данным, так как они во многом влияют на процессы, проходящие в дорожных конструкциях, определяющие образование различного вида повреждений дорожных одежд [10-15].

Следующий этап создания систем управления связан с анализом полученных данных и прогнозированием состояния автомобильных дорог на их основе. Для этого широко используются модели деградации состояния дорожных конструкций. Данные модели классифицируются на статические регрессионные [16-18] и стохастические [19, 20]. Основой статических регрессионных моделей является получение уравнения, устанавливающего связь между основными типами переменных и оценке степени их влияния на исследуемый параметр. Стохастические или вероятностные модели позволяют построить искусственный вероятностный процесс на основе разных влияющих факторов, что позволяет моделировать процесс наступления того или иного вероятного состояния конструкции в будущем и сопоставления полученных с помощью моделирования данных с фактическим состоянием конструкций. В этом

типе моделей выделяют несколько направлений – эконометрические методы, Марковский анализ, методы теории надёжности [21].

Методики прогнозирования состояния дорожных конструкций могут быть направлены на предсказание как общего состояния для всех дорожных конструкций (прочность, остаточный ресурс дорожных одежд и др.), так и отдельных её элементов [22] или показателей [23, 24].

В случаях, когда данных для создания модели деградации недостаточно, может применяться метод моделирования, предложенный в работе [24].

Автором [8] предложен механико-статистический метод оценки остаточного ресурса нежестких дорожных одежд. В данной модели автор в качестве одного из основных показателей отклика дорожной конструкции на динамическое воздействие предлагает использовать плотность рассеиваемой энергии, рассчитываемую из площади динамической петли гистерезиса, под воздействием колеса расчетного автомобиля.

Заключительная часть в процессе создания систем управления состоянием дорожных конструкций – использование различных методов планирования для принятия решений о проведении тех или иных видов работ по содержанию и ремонту с учётом фактического и прогнозируемого состояния дороги и экономической эффективности, в том числе с целью повышения безопасности движения.

3 Результаты исследований

Для эффективного управления состоянием конструкций авторы работы [3] выделяют два уровня планирования: сетевой и проектный.

Первый уровень – сетевой, который может быть использован для бюджетных оценок и планирования на основе моделей прогнозирования эксплуатационного состояния.

Второй уровень – проектный, который используется для выбора эффективных мероприятий, проводимых в рамках ремонта или капитального ремонта.

В течение жизненного цикла дороги решения на сетевом уровне принимаются до момента достижения конструкцией предельного эксплуатационного состояния, после которого дальнейшая эксплуатация автодороги становится невозможна из-за достижения предельных значений тех или иных показателей (коэффициент сцепления колеса с покрытием, ровность и т.д.). Цель планирования – назначение мероприятий по текущему ремонту и содержанию, с учётом их стоимости, для поддержания дороги в допустимом эксплуатационном состоянии максимально долго. Проектный уровень связан с назначением ремонтных мероприятий, которые будут иметь мгновенный эффект по повышению эксплуатационного состояния дорожных конструкций и будут способствовать снижению аварийности на автомобильных дорогах.

Анализ и планирование на обоих уровнях должны осуществляться с использованием ранее полученной статистики по уровню затрат на различные виды работ по ремонту и содержанию и полученному от них экономическому эффекту. Выбор неправильной стратегии и алгоритма принятия решений влечёт за собой увеличение затрат на поддержание эксплуатационного состояния дорог на допустимом уровне.

Для понимания важности создания систем управления состоянием дорожных конструкций авторами было выполнено моделирование процесса изменения состояния дорожной конструкции течение 3-х летнего периода в зависимости от месячных изменений температуры воздуха. Конструкция дорожной одежды включала двухслойное покрытие из асфальтобетона, основание из щебеночно-песчаной смеси С-4, подстилающий слой из песка.

Для условий Белгородской области на основе фактических данных архива погоды за 3-х летний период был выполнен расчет температуры асфальтобетонного покрытия (рис. 2).

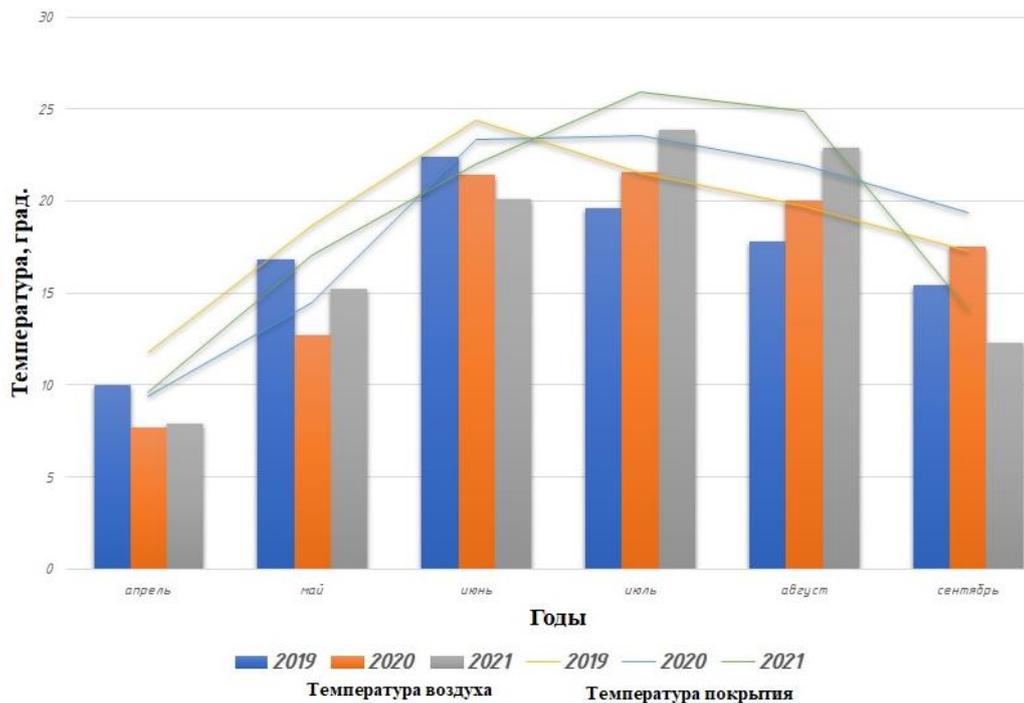


Рисунок 2 – График изменения температуры воздуха и температуры покрытия по месяцам и годам

Используя зависимость свойств асфальтобетона от температуры, были вычислены фактические модули упругости слоев из асфальтобетона и рассчитан общий модуль упругости на поверхности дорожной конструкции с использованием программного продукта CREDO «Радон» по методике ПНСТ 542-2021 [8]. Результаты расчета общего модуля упругости на поверхности дорожной конструкции по месяцам представлены на рис. 3.

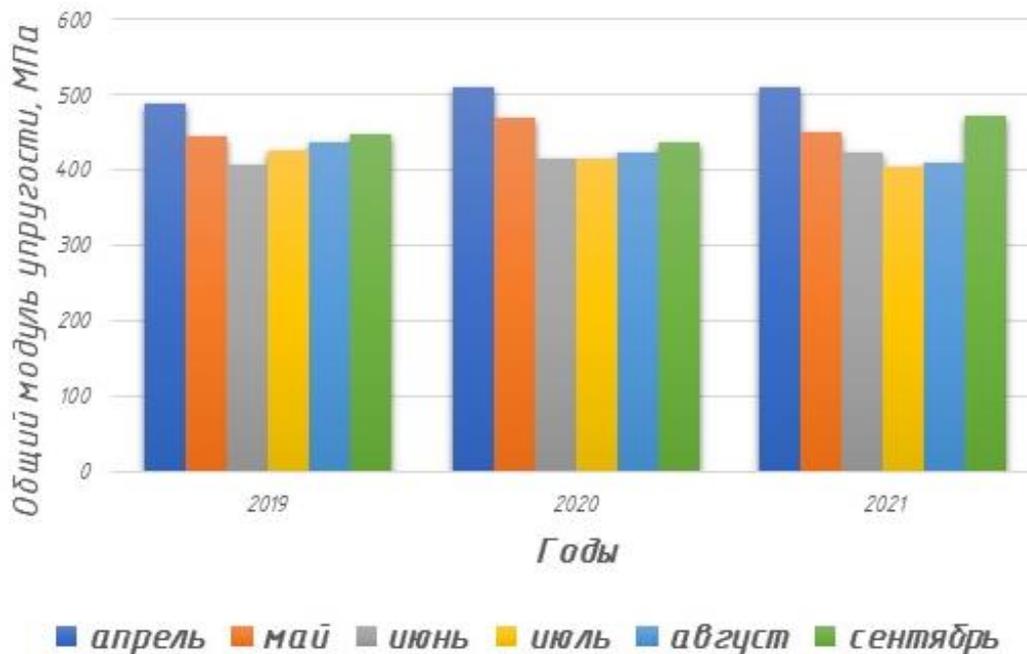


Рисунок 3 – График изменения общего модуля упругости на поверхности дорожной одежды по месяцам и годам

Данные результаты показывают, что состояние дорожной конструкции меняется в зависимости от конкретных температурных условий каждого месяца. На основе значений общего модуля упругости были рассчитаны значения коэффициента прочности дорожной конструкции по месяцам на протяжении 3 лет (рис. 4). Видно, что в отдельные месяцы происходит снижение коэффициента прочности ниже предельного значения (1,20 – для II категории дороги), что может привести к снижению работоспособности дорожной одежды.

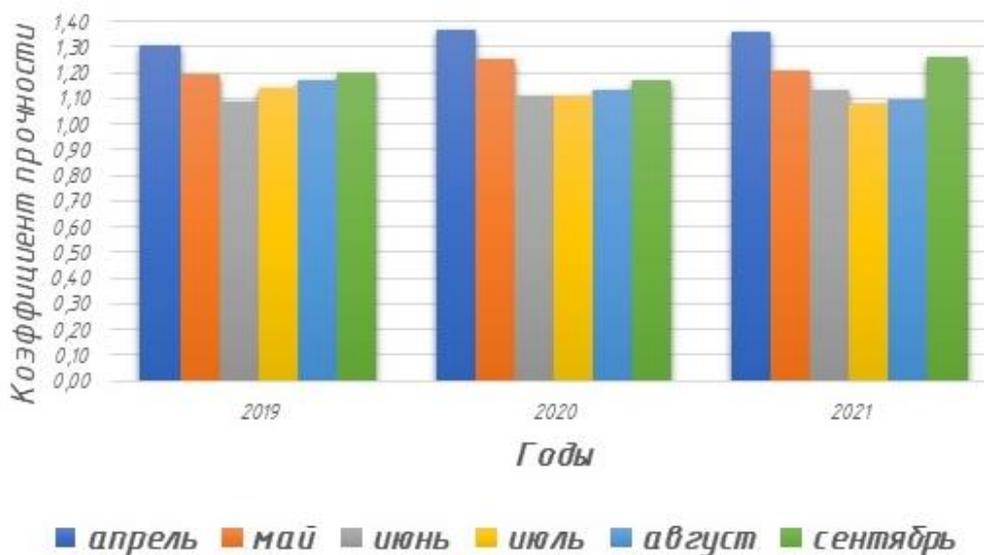


Рисунок 4 – График изменения коэффициента прочности дорожной одежды по месяцам и годам

Таким образом, имеется острая необходимость в создании систем управления состоянием дорожных конструкций, которая позволила бы на всех уровнях (проектном, строительном, эксплуатационном) прогнозировать состояние дорожных конструкций, а также оценивать возможные последствия от неблагоприятного воздействия влияющих факторов.

Во многих странах, где признана необходимость использования систем управления состоянием дорожных конструкций, практически все они (HERST-ST, RONET, SMEC, SMART, MicroPaver и др.) имеют модуль экономического анализа. В России подобный опыт имеется (СТО АВТОДОР 2.4-2013, ОДМ 218.9.003-2015), но большинство разработок носит рекомендательный характер или находится на стадии научных проектов. При этом действующая нормативная документация часто не позволяет интегрировать опыт других стран в этом вопросе.

4 Обсуждение и заключение

Исследования вопросов работоспособности и прогнозирования сроков службы дорожных конструкций показывает необходимость разработок и использования систем управления их состоянием. Это позволит в условиях ограниченного финансирования дорожного строительства сократить расходы на содержание и ремонт автомобильных работ и добиться повышения безопасности на автомобильных дорогах.

На основе рассмотрения процесса создания систем управления состоянием дорожных конструкций обоснована необходимость и важность разработки эффективных моделей для прогнозирования их состояния. Целью этого является планирование ремонтных работ, а также количественная оценка влияния возможных последствий изменения интенсивности, состава транспортного потока и других влияющих факторов на работоспособность дорожных конструкций и безопасность автомобильных дорог.

Моделирование изменения состояния дорожной конструкции на примере условий Белгородской области на протяжении 3-х летнего периода в теплое время года показало снижение работоспособности дорожного полотна ниже нормативных значений по коэффициенту прочности. Это показывает информативность используемой модели и обуславливает высокий потенциал дальнейшего необходимого развития моделирования дорожных конструкций для прогнозирования оценки величины колеи и работоспособности дорожного полотна.

Список литературы

- 1 Дорожное хозяйство России. Цифры и факты: справ.: М.: Минтранс России. Фед. дор. агентство. 2010. С. 18–26.
- 2 О нормативах финансовых затрат и Правилах расчета размера бюджетных ассигнований федерального бюджета на капитальный ремонт, ремонт и содержание автомобильных дорог федерального значения: постановление Правительства от 30 мая 2017 г. № 658 // Собрание законодательства РФ. М., 2017. № 23. Ст. 354.
- 3 Углова Е.В., Саенко С.С. Обзор инструментов управления состоянием дорожных конструкций // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». 2016. №1 (3) [Электронный ресурс]. URL: <http://t-s.today/PDF/02TS116.pdf> (дата обращения: 22.06.2022).
- 4 Hudson, S.W. Minimum Requirements for Standard Pavement management Systems / S.W. Hudson, W.R. Hudson, R.F. Carmichael // In Pavement Management Implementation, eds F.B. Holt & W.L., Gramling, STP 1121, American Society for Testing and Material, Philadelphia, 1992. pp. 19-31.
- 5 Shahin, M.Y. Pavement Management For Airport, Roads, and Parking Lots. Chapman & Hall, New York, 1994. ISBN 0-412-99201-9.
- 6 Буртыль Ю. В., Капский Д. В. Моделирование взаимосвязи ровности и прочности жестких дорожных одежд на основании теоретическо-практических исследований // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 4 (86). С. 570-583. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-570-583>.
- 7 Чирва, Д.В. Инновационный подход к автоматизированному дистанционному мониторингу состояния дорожных конструкций / Д.В. Чирва, С.А. Мирончук, Е.Н. Исаев // Техника и технология транспорта. 2019. № 11. С. 42 [Электронный ресурс]. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-42СТС19.pdf> (дата обращения: 22.06.2022).
- 8 Тиратурян А.Н. Механико-статистический метод оценки остаточного ресурса жестких дорожных одежд // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2018. №4 [Электронный ресурс]. URL: <https://t-s.today/PDF/01SATS418.pdf>.
- 9 Беляев, Д.С. Применение логики нечетких множеств при оценке технического состояния автомобильных дорог / Д.С. Беляев, А.В. Кочетков, Л.В. Янковский, А.Т. Глухов // «Фундаментальные исследования». 2012. №9. С. 356–360.
- 10 Носов В.П., Гнездилова С.А. Влияние природно-климатических факторов на колеобразование // Наука и техника в дорожной отрасли. 2009. №4. С.18–24.
- 11 Fotiadi, A.A. Remote Method for Predicting Damage to Cement Concrete Pavements / A. A. Fotiadi, S. A. Gnezdilova, I. S. Strekha // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 95. P. 333–339.
- 12 Гнездилова, С.А. Прогнозирование состояния асфальтобетонных покрытий дистанционным методом [Электронный ресурс] / С.А. Гнездилова, А.А. Фотиади, Д.Ю. Горох // XII Международный молодежный форум «Образование, наука, производство». – Белгород, 2020.
- 13 Fotiadi, A.A. 2021 Mechanical-Empirical Model for Predicting the Faulting on Concrete Pavements / A.A. Fotiadi, S.A. Gnezdilova, V.V. Silkin // Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 160. pp 381–387.
- 14 Гнездилова, С.А. Разработка модели прогнозирования развития поперечных трещин для автомобильных дорог Белгородской области [Электронный ресурс] / С.А. Гнездилова, Д.Ю. Горох, А.А. Фотиади // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. - Белгород, 2021. С. 1951-1956.

- 15 Фотиади, А.А. Анализ систем управления состоянием дорожных одежд / , А.А. Фотиади, С.А. Гнездилова, Е.Д. Парцевский // Научные технологии и инновации (XXIV научные чтения) [Электронный ресурс]: сб. докладов междунар. науч.-практ. конф.: Белгород: БГТУ, 2021. С. 242-248.
- 16 Zumrawi Magdi. Survey and Evaluation of flexible Pavement Failures. *International Journal of Science and Research (IJSR)*. 2015. № 4. P. 1602–1607.
- 17 Khaing H., Htwe T. Study on Failures and Maintenance of Flexible Pavement. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*. 2014. № 3 (14). P. 2984–2990.
- 18 Zhayang Lua, Qiang Meng. Impacts of pavement deterioration and maintenance cost on Paretoefficient contracts for highway franchising. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2018. Vol. 113. P. 1–21.
- 19 Nega, A. Distress Identification, Cost Analysis and Pavement / A. Nega, H. Nikraz, S. Herath, B. Ghadimi // *International Journal of Engineering and Technology*. 2015. Vol. 7 (4). P. 267–275.
- 20 Zambon Ivan, Vidovic Anja, Strauss Alfred, Matos Jose, Amado Joao. Comparison of Stochastic Prediction Models Based on Visual Inspections of Bridge Decks. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2017. Vol. 23. P. 553–561. URL: <https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1323795>. (дата обращения: 22.06.2022).
- 21 Батракова, А.Г. Динамические и экономические модели прогнозирования состояния автомобильных дорог / А.Г. Батракова, С.М. Урдзик, Д.О. Батраков // *Вісник ХНАДУ*, 2019 вип. 85.
- 22 Селиверстова О.В., Немчикова Л.А. Расчётное моделирование процессов, происходящих в земляном полотне автодорог с обводнёнными условиями // *Труды НГАСУ*. Новосибирск: НГАСУ, 2020. Т.23, №2 (76). С. 76-84.
- 23 Углова Е.В., Саенко С.С. Обзор инструментов прогнозирования продольной ровности дорожных покрытий // Интернет-журнал «Транспортные сооружения», 2016. Том 3. №4 [Электронный ресурс]. URL: <http://t-s.today/PDF/05angTS416.pdf>. (дата обращения: 22.06.2022).
- 24 Zimmerman K., and Broten M., 1999. «Development of Performance Models for Pavement Management System». Presented at 24th International Air Transportation Conference, ASCE.

References

- 1 The road industry of Russia. Figures and facts: reference: M.: Ministry of Transport of Russia. Fed. dor. agency. 2010. pp. 18-26.
- 2 On the standards of financial costs and Rules for calculating the size of budget allocations of the federal budget for capital repairs, repairs and maintenance of highways of federal significance: Government Decree No. 658 of May 30, 2017 // Collection of legislation of the Russian Federation. M., 2017. No. 23. St. 354.
- 3 Uglova E.V., Saenko S.S. Overview of tools for managing the condition of road structures // Online magazine "Transport facilities". 2016. No.1 (3) [Electronic resource]. URL: <http://t-s.today/PDF/02TS116.pdf> (accessed: 06/22/2022).
- 4 Hudson, S.W. Minimum Requirements for Standard Pavement management Systems / S.W. Hudson, W.R. Hudson, R.F. Carmichael // In Pavement Management Implementation, eds F.B. Holt & W.L., Gramling, STP 1121, American Society for Testing and Material, Philadelphia, 1992. pp. 19-31.
- 5 Shakhin, M.Y. Road surface management at airports, on roads and parking lots. Chapman and Hall, New York, 1994. ISBN 0-412-99201-9.
- 6 Burtyl Yu. V., Kapsky D. V. Modeling the relationship between evenness and strength of non-rigid road clothes on the basis of theoretical and practical research // *Bulletin of SibADI*. 2022. Vol. 19, No. 4 (86). pp. 570-583. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-4-570-583> .
- 7 Chirva, D.V. An innovative approach to automated remote monitoring of the condition of road structures / D.V. Chirva, S.A. Mironchuk, E.N. Isaev // *Technique and technology of transport*. 2019. No. 11. p. 42 [Electronic resource]. URL: <http://transport-kgasu.ru/files/N11-42CTC19.pdf> (date of application: 06/22/2022).

- 8 Tiraturyan A.N. A mechanical and statistical method for estimating the residual resource of non-rigid road clothes // Online magazine "Transport structures", 2018. No.4 [Electronic resource]. URL: <https://t-s.today/PDF/01SATS418.pdf>.
- 9 Belyaev, D.S. Application of the logic of fuzzy sets in assessing the technical condition of highways / D.S. Belyaev, A.V. Kochetkov, L.V. Yankovsky, A.T. Glukhov // "Fundamental Research". 2012. No.9. pp. 356-360.
- 10 Nosov V.P., Gnezdilova S.A. The influence of natural and climatic factors on coal formation // Science and technology in the road industry. 2009. No.4. pp.18-24.
- 11 Fotiadi, A.A. Remote Method for Predicting Damage to Cement Concrete Pavements / A. A. Fotiadi, S. A. Gnezdilova, I. S. Strekha // Lecture Notes in Civil Engineering. 2020. Vol. 95. P. 333-339.
- 12 Gnezdilova, S.A. Forecasting the state of asphalt concrete pavements by the station method [Electronic resource] / S.A. Gnezdilova, A.A. Fotiadi, D.Yu. Gorokh // XII International Youth Forum "Education, Science, production". Belgorod, 2020.
- 13 Fotiadi, A.A. 2021 Mechanical-Empirical Model for Predicting the Faulting on Concrete Pavements / A.A. Fotiadi, S.A. Gnezdilova, V.V. Silkin // Lecture Notes in Civil Engineering. Vol. 160. pp 381-387.
- 14 Gnezdilova, S.A. Development of a model for predicting the development of transverse structures-shchin for highways of the Belgorod region [Electronic resource] / S.A. Gnezdilova, D.Yu. Gorokh, A.A. Fotiadi // International Scientific and Technical Conference of young scientists of V.G. Shukhov BSTU. Belgorod, 2021. pp. 1951-1956.
- 15 Fotiadi, A.A. Analysis of control systems for the condition of road surfaces / , A.A. Fotiadi, S.A. Gnezdilova, E.D. Partsevsky // High-tech technologies and innovations (XXIV scientific readings) [Electronic resource]: collection of reports of the international scientific and practical conference: Belgo-rod: BSTU, 2021. Pp. 242-248.
- 16 Zumravi Magdi. Inspection and assessment of destruction of flexible road surfaces. International Journal of Science and Research (IJSR). 2015. No. 4. pp. 1602-1607.
- 17 Haing H., Htve T. Investigation of failures and maintenance of flexible road surfaces. International Journal of Scientific Engineering and Technological Research. 2014. No. 3 (14). pp. 2984-2990.
- 18 Zhayang Lua, Qiang Meng. The impact of pavement wear and maintenance costs on pareto-efficient highway franchising contracts. Transport Research, Part E: Overview of logistics and Transportation. 2018. Volume 113. pp. 1-21.
- 19 Nega, A. Distress Identification, Cost Analysis and Pavement / A. Nega, H. Nikraz, S. Herath, B. Ghadimi // International Journal of Engineering and Technology. 2015. Vol. 7 (4). P. 267-275.
- 20 Zambon Ivan, Vidovic Anja, Strauss Alfred, Matos Jose, Amado Joao. Comparison of Stochastic Prediction Models Based on Visual Inspections of Bridge Decks. Journal of Civil Engineering and Management. 2017. Vol. 23. pp. 553-561. URL: <https://doi.org/10.3846/13923730.2017.1323795> . (date of reference: 06/22/2022).
- 21 Batrakova, A.G. Dynamic and economic models of forecasting the state of highways / A.G. Batrakova, S.M. Urdzik, D.O. Batrakov // Visnik HNADU, 2019 vip. 85.
- 22 Seliverstova O.V., Nemchikova L.A. Computational modeling of processes occurring in the roadbed with watered conditions // Proceedings of NGASU. Novo-sibirsk: NGASU, 2020. vol. 23, No.2 (76). pp. 76-84.
- 23 Uglova E.V., Saenko S.S. Review of tools for predicting the longitudinal flatness of road surfaces // Online magazine "Transport facilities", 2016. Volume 3. No.4 [Electronic resource]. URL: <http://t-s.today/PDF/05angTS416.pdf>. (accessed: 06/22/2022).
- 24 Zimmerman K., and Broten M., 1999. «Development of Performance Models for Pavement Management System». Presented at 24th International Air Transportation Conference, ASCE.