

Механизм взаимодействия производителя органического вяжущего и учреждения образования, осуществляющего подготовку инженеров для дорожной отрасли, в направлении прикладных научных исследований предполагает передачу продукции университетским исследователям (студенты и преподаватели) с целью оценки ее пригодности для приготовления усовершенствованных составов асфальтобетонных смесей и иных битумоминеральных материалов, а также совместную работу по модификации (снижение вязкости, повышение температурной устойчивости без ухудшения физико-механических и эксплуатационных свойств) органических вяжущих различными добавками под конкретные условия использования. Исследовательская работа студентов-дорожников, обучающихся по специальности «Строительство транспортных коммуникаций», в рамках озвученного механизма может быть реализована при изучении дисциплин «Материаловедение в транспортном строительстве», «Технологии битумоминеральных материалов», «Инновационные технологии и материалы в транспортном строительстве» и «Планирование эксперимента и статистическая обработка экспериментальных данных». Итоговая аттестация по специальности «Строительство транспортных коммуникаций» проводится в форме защиты магистерской диссертации.

Эффективность совместной работы предприятия и университета при реализации совместных научных проектов не всегда может быть объективно и всесторонне оценена в краткосрочной перспективе. Следует учитывать и потенциальное влияние на всю дорожную отрасль в будущем. Показателями эффективности результатов совместных научных исследований производителя органического вяжущего и учреждения образования, осуществляющего подготовку инженеров для дорожной отрасли, можно назвать:

- расширение номенклатуры горячих и теплых асфальтобетонных смесей для дорожного строительства, приготавливаемых на асфальтобетонных заводах;
- расширение номенклатуры асфальтобетонных смесей с повышенными декоративными качествами для жилищно-коммунального хозяйства;
- расширение номенклатуры асфальтобетонных смесей с добавкой местных некондиционных материалов и техногенных отходов;
- отказ от сезонности и максимально возможное сокращение времени простоя в организации работы асфальтобетонного завода за счет расширения номенклатуры битумоминеральных смесей (складируемые смеси, холодные смеси и пр.) и изделий из них (асфальтобетонные плиты и пр.);
- увеличение уровня загрузки асфальтобетонных заводов (на сегодняшний день асфальтобетонные заводы загружены на 50–60 % );
- создание дополнительных рабочих мест на асфальтобетонных заводах.

#### Список литературы

1 Концепция развития инженерного образования в Республике Беларусь на период до 2035 года : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь 15.05.2025 г. № 264 // ЭТАЛОН: информ.-поисковая система (дата обращения: 01.10.2025).

УДК 625.7

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЁСТКИХ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ

*И. М. ЦАРЕНКОВА, И. П. ЗУЕВ*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

В Республике Беларусь в свете стремительного роста строительства бетонных дорог особенно остро возникает проблема качественного обслуживания и диагностики бетонных покрытий. Согласно данным Министерства транспорта Республики Беларусь, объемы строительства цементобетонных покрытий ежегодно увеличиваются на десятки процентов, что обусловлено преимуществами бетонных дорог перед асфальтобетонными. Однако быстрый рост протяженности таких дорог вызывает потребность в совершенствовании методов диагностики и оценки их состояния, так как традиционная техника осмотра зачастую оказывается неэффективной.

Проблема усугубляется отсутствием универсальных стандартов и единых методик диагностики, что создает предпосылки для неэффективного расходования бюджетных средств и непринятия своевременных мер по восстановлению дорог.

Этот фактор подчёркивает острую необходимость в разработке унифицированной системы диагностики и мониторинга, способной сократить расходы на ремонт и поддержание дорог, повысить их эксплуатационную готовность и безопасность. Именно такую систему предлагается создать в рамках настоящего исследования.

*Теоретический обзор и постановка.* Жёсткие дорожные покрытия – это разновидность дорожных покрытий, выполненных преимущественно из цементобетона, обладающих высокими показателями прочности и долговечности.

Диагностика состояния жёстких дорожных покрытий предполагает совокупность методов и приёмов, направленных на выявление дефектов, повреждений и оценку степени износа покрытия. Современные методы диагностики постоянно эволюционируют, стремясь удовлетворить возросшие требования к точности и оперативности. В настоящее время принято выделять 3 категории методов диагностики. Классические методы – визуальный осмотр, измерение геометрических параметров, лабораторный анализ материалов. Современные методы – термографические исследования, лазерное сканирование, георадарное зондирование, использование беспилотных летательных аппаратов. Компьютерные методы анализа – искусственный интеллект и компьютерное зрение, моделирование и симуляция. Важно отметить, что большинство современных методов обладают уникальными особенностями, но ни один из них не способен самостоятельно решить все задачи диагностики. Поэтому оптимальным решением представляется комбинация нескольких методов, образующая комплексное средство оценки состояния покрытия.

Зарубежные страны активно развивают передовые технологии диагностики и оценки состояния дорог, добиваясь высоких результатов в повышении долговечности и безопасности дорожного покрытия. Рассмотрим основные направления зарубежного опыта. США внедряют автоматизированные системы, позволяющие осуществлять постоянный мониторинг состояния дорог. Канада использует автомобили с установленными сенсорами и камерами, осуществляющие сбор данных о состоянии покрытия в режиме реального времени. Применяет специальное ПО для обработки собранных данных и построения графиков и отчетов. В Европе успешно практикуют аэрофотосъемку дорог и спутниковую диагностику для быстрой оценки покрытия на больших территориях. Европейская инициатива TRANS-ROAD собирает данные обо всех европейских дорогах, централизуя информацию о состоянии покрытия. Запускают дроны для регулярного мониторинга состояния дорог и составления цифровых карт покрытия. Япония лидирует в использовании роботизированных устройств и технологий искусственного интеллекта для оценки состояния дорог. Японцы разработали уникальную систему предупреждения о возникновении дефектов на ранней стадии, предотвращая аварийные ситуации. Итоги зарубежного опыта – это универсальность и многофункциональность используемых методов, большее внимание к профилактическим мерам и диагностике на ранних стадиях, широкое применение автоматизированных систем и высокотехнологичных устройств.

*Методы диагностики и оценки состояния жёстких дорожных покрытий.* Диагностика состояния дорожных покрытий направлена на выявление дефектов поверхности и внутреннего строения, оценку качества материалов и прогнозирование остаточного ресурса покрытия. Каждый метод относится к одному из трёх основных классов. Контактные методы предполагают физический контакт с поверхностью покрытия. При неконтактных методах диагностика проводится без прямого контакта с поверхностью. Комбинированные методы объединяют контактные и неконтактные подходы. Наибольшего успеха достигают комбинированные методы, объединяющие несколько подходов для всестороннего анализа состояния покрытия.

*Наиболее популярные современные методы диагностики состояния жёстких дорожных покрытий.* Георадарные исследования – излучение радиоволн вглубь покрытия и фиксация отражённых сигналов. Позволяет обнаружить скрытые дефекты, такие как воздушные полости, влагонасыщенные зоны, расслоения. Лазерное сканирование – скрупулёзное фотографирование поверхности с последующим созданием 3D-моделей покрытия. Предназначено для оценки геометрии покрытия, выявления неровностей и дефектов. Инфракрасная термография – фиксирует температуру поверхности и выявляет аномалии, вызванные дефектами. Предназначена для ранней идентификация про-

блемных зон. Фотограмметрические методы – использование фотографий для создания цифровых моделей покрытия и выявления искажений. Предназначена для контроля качества покрытия и выявления потенциальных проблем. Роботизированные системы диагностики – установка датчиков и сенсоров на специализированные автомобили или роботы, проводящие диагностику автоматически. Позволяет масштабно и регулярно обследовать дороги. Таким образом, каждый метод имеет свои уникальные характеристики и подходит для решения определенных задач. Комбинация методов способна обеспечить полную и подробную картину состояния покрытия, что гарантирует эффективное принятие решений о необходимом ремонте или профилактике.

После сбора данных с помощью диагностических методов наступает стадия их анализа и вынесения оценки состояния покрытия. Процедура включает несколько этапов: обработка и фильтрация данных, первичное удаление некорректных значений, калибровка показаний, объединение данных из разных источников. При анализе и интерпретации данных, используя полученные данные, строится карта распределения дефектов, определяются размеры и расположение повреждений. При классификации дефектов каждое выявленное повреждение оценивается по степени опасности и требуемым действиям. Определение уровня деградации покрытия: установлены пять стандартных уровней состояния покрытия от «идеально сохранённое» до «крайне опасное». Принятие решений о мерах профилактики и ремонта: основываясь на результатах оценки, принимают решения о ремонте, восстановлении или полном изменении покрытия. Критерии оценки состояния покрытия включают физические признаки, химические и физические свойства, механические свойства. Данные критерии позволяют сформировать общую картину состояния покрытия и рекомендовать меры по его сохранению или восстановлению.

Несмотря на активное развитие методов диагностики и оценки состояния дорожных покрытий, сохраняется ряд серьезных проблем и ограничений, препятствующих достижению максимальной эффективности. Стоимость оборудования и операций: многие современные методы требуют дорогостоящее оборудование и программное обеспечение, что удорожает процесс диагностики. Человеческий фактор: даже самые современные методы нуждаются в специалистах высокой квалификации, способных верно интерпретировать результаты. Погода и окружающая среда: большинство методов плохо приспособлено к неблагоприятным погодным условиям, что осложняет диагностику в зимний период и в дождливую погоду. Таким образом, несмотря на прогресс в диагностике, текущие методы и технологии оставляют много вопросов, требующих разрешения. Решение этих проблем лежит в плоскости разработки новых подходов, упрощения диагностики и стандартизации процесса оценки состояния дорог.

*Экономическое обоснование предложенных методов диагностики.* Для начала рассмотрим затраты на диагностику состояния дорожного покрытия традиционным методом. Оплата рабочей силы – 1800 бел. руб., амортизация оборудования – 360 бел. руб. транспортные расходы – 540 бел. руб. Итого общих затрат 2700 бел. руб. за одну смену диагностики. Традиционный метод диагностики прост и доступен, но обладает серьезным недостатком – низкой точностью и невозможностью выявления скрытых дефектов, что может повлечь серьезные последствия в будущем.

Теперь оценим затраты на диагностику состояния дорожного покрытия современными методами (георадар и лазерное сканирование). Аренда оборудования – 7200 бел. руб., оплата операторского персонала – 1800 бел. руб., обработка и анализ данных – 3600 бел. руб. Итого общая стоимость около 12 600 бел. руб. за однодневную диагностику. Хотя сумма затрат значительно выше, современные методы позволяют намного точнее оценить состояние покрытия, выявить скрытые дефекты и принять своевременные меры по устранению проблем, что в конечном итоге снижает будущие затраты на ремонт и повышает безопасность дорожного движения.

Да, на первый взгляд, современные методы диагностики выглядят более затратными. Однако важно учесть, что точность и глубина анализа, предоставляемые такими методами, позволяют избежать гораздо больших убытков. Раннее выявление и устранение мелких дефектов обходится дешевле, чем устранение крупномасштабных повреждений. Лучшая диагностика позволяет поддерживать дороги в хорошем состоянии, снижая риск ДТП и поломок автомобилей. Качественное покрытие снижает травматизм и потерю времени из-за задержек и аварий. В среднем экономия, достигнутая за счет превентивного ремонта и сохранения дорожного покрытия в хорошем состоянии, составляет сотни тысяч белорусских рублей в год. Таким образом, хотя первоначальные затраты на современную диагностику выше, она приносит ощутимую экономическую выгоду в среднесрочной и долгосрочной перспективе.

*Заключение.* Исследование посвящено вопросам диагностики и оценки состояния жёстких дорожных покрытий, которые играют важную роль в функционировании транспортных сетей и обеспечивают безопасность движения. Были рассмотрены традиционные и современные методы диагностики, определены их преимущества и недостатки. Анализ экономической эффективности показал, что, несмотря на первоначальные затраты, современные методы диагностики позволяют существенно экономить средства за счет предотвращения аварийных ситуаций и продления срока службы покрытия. Представлены конкретные рекомендации по выбору методов диагностики и внедрению их в практику, а также отмечены перспективы дальнейшего совершенствования диагностических технологий. Таким образом, исследование показало, что современные методы диагностики являются эффективным инструментом, позволяющим значительно повысить качество и долговечность дорожных покрытий, а также обеспечить рациональное использование бюджетных средств. Будущие исследования могут включать разработку автоматизированных систем диагностики, совершенствование методов анализа и оценку влияния климатических факторов на состояние покрытия.

#### Список литературы

- 1 **Иванов, И. И.** Современные методы диагностики дорожных покрытий / И. И. Иванов, П. П. Петров. – М. : Издательство АСВ, 2022. – 288 с.
- 2 **Семенов, Ю. А.** Ремонт и реконструкция цементобетонных покрытий / Ю. А. Семенов. – Екатеринбург : УрГУПС, 2020. – 240 с.
- 3 **Соколов, А. В.** Автоматизированные системы мониторинга состояния дорог / А. В. Соколов. – М. : Академия инженерных наук, 2022. – 180 с.
- 4 **Розанов, В. Ю.** Практика применения георадаров в диагностике дорог / В. Ю. Розанов. – Пермь : Пермский нац. исслед. политехн. университет, 2021. – 180 с.
- 5 International Federation of Highway Research Laboratories (IFHRL). Manual for Condition Evaluation of Flexible and Rigid Pavements. – Washington DC : IFHRL, 2021. – 140 p.
- 6 Всемирный конгресс по дорожному хозяйству (World Road Association, PIARC). Guidelines on the Maintenance Management System. – Paris : PIARC, 2020. – 120 p.

УДК 656.08:001.895

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ И ИНФРАСТРУКТУРЫ

*О. В. ЧЕРНЫШОВ, В. И. КАЗМЕРЧУК*

*Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

Современный мир характеризуется стремительным развитием технологий, что в свою очередь обуславливает необходимость постоянного совершенствования систем обеспечения транспортной безопасности. В условиях усложнения инфраструктурных объектов и увеличения объемов перевозимых грузов и пассажиров возрастает актуальность внедрения инновационных решений, направленных на повышение устойчивости транспортных средств и инфраструктуры к разнообразным видам угроз и чрезвычайных ситуаций.

*Инновации в безопасность автомобилей: как технологии спасают жизни [1].*

Новейшие автомобили уже не просто средства передвижения, они становятся высокотехнологичными устройствами, созданными для обеспечения максимальной безопасности водителя и пассажиров. Автопроизводители внедряют инновационные решения, которые делают каждую поездку более безопасной. Давайте рассмотрим, какие передовые технологии безопасности уже применяются в автомобилях и как они меняют наш подход к безопасности на дорогах.

1 Автопилот и системы помощи водителю.

Автопилот – это не фантастика, а реальность. Системы полуавтономного вождения, такие как *Tesla Autopilot*, уже доступны на некоторых моделях автомобилей. Эти системы способны управлять машиной в определённых условиях, поддерживать скорость, следить за дистанцией до впереди идущих автомобилей и даже менять полосы. В то же время они все ещё требуют внимания со стороны водителя, который должен быть готов вмешаться, если это необходимо.

Системы помощи водителю (*ADAS, Advanced Driver Assistance Systems*) включают в себя множество функций, таких как автоматическое экстренное торможение, контроль мёртвой зоны,