Научная статья

https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2025.91.3.009
УДК 625.7:332.1

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УКЛАДКИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ

Гиссин В. И.*[1]
[1] *Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Ростов-на-Дону, Россия*
*** givi41@mail.ru***

Аннотация. *Введение.* Статья посвящена актуальным вопросам совершенствования процессов укладки дорожной одежды, что является ключевым фактором повышения качества, долговечности и безопасности дорожных покрытий. Автор рассматривает основные проблемы, возникающие при строительстве дорог, такие как неравномерное уплотнение, использование низкокачественных материалов, несоблюдение технологических норм и влияние человеческого фактора. Цель исследования – анализ современных методов контроля и диагностики для минимизации потерь и повышения эффективности строительных процессов. *Материалы и методы.* Методологическую основу исследования составляют системный, комплексный, процессный подходы. В работе использованы современные методы контроля и диагностики, включая лазерное сканирование, инфракрасную термографию, автоматизированные системы мониторинга и IoT-технологии. Также применялись статистический контроль, визуализация и другие инструменты для выявления дефектов на ранних стадиях. *Результаты исследования.* Особое внимание уделено комплексному подходу, объединяющему применение качественных материалов, автоматизацию процессов и цифровизацию управления дорожной инфраструктурой. Основные проблемы, выявленные в процессе укладки дорожной одежды, включают: неравномерное уплотнение, низкое качество материалов, несоответствие технологических процессов и человеческий фактор. Причинно-следственная диаграмма демонстрирует влияние проектных работ, материалов, процессов эксплуатации и человеческого фактора на качество покрытия. Современные методы контроля, такие как лазерное сканирование и IoT-системы, показали высокую точность и скорость, что значительно превосходит традиционные методы. *Обсуждение и заключение.* Исследование подтвердило, что внедрение инновационных решений, включая автоматизацию и цифровые технологии, способствует снижению затрат на ремонт, увеличению срока службы дорог и повышению их эксплуатационной надежности. Оптимизация процессов укладки дорожной одежды требует строгого соблюдения технологических норм, использования качественных материалов и постоянного контроля. Перспективными направлениями развития являются применение искусственного интеллекта, роботизированных систем и сенсорных покрытий. Внедрение этих технологий позволит перейти к прогнозным методам содержания дорожной сети, что повысит эффективность управления транспортной инфраструктурой.

Ключевые слова: дорожная одежда, укладка покрытия, контроль качества, автоматизация, цифровые технологии, долговечность дорог, мониторинг, инновационные методы.

Для цитирования: Гиссин В. И. Совершенствование процессов укладки дорожной одежды. *Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ)*. 2025;3(32):108-115. doi: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2025.91.3.009.

Research article

JEL L92 O18 R42 L74 O33 R41

IMPROVEMENT OF ROAD PAVEMENT PROCESSES

Gissin V.*[1]
[1] *Rostov State University of Economics,*
Rostov-on-Don, Russia
** givi41@mail.ru*

Abstract. *Introduction.* The article addresses current issues in improving the processes of road pavement construction, which is a key factor in enhancing the quality, durability, and safety of road surfaces. The author examines the main challenges encountered in road construction, such as uneven compaction, the use of low-quality materials, non-compliance with technological standards, and the influence of human factors. The study aims to analyze modern control and diagnostic methods to minimize losses and improve the efficiency of construction processes. *Materials and methods.* The methodological framework of the study is based on systemic, comprehensive, and process-oriented approaches. Modern control and diagnostic techniques were employed, including laser scanning, infrared thermography, automated monitoring systems, and IoT technologies. Statistical control, visualization, and other tools were also used to detect defects at early stages. *Research results.* Special attention is given to an integrated approach combining the use of high-quality materials, process automation, and digitalization of road infrastructure management. The main issues identified during road pavement construction include uneven compaction, poor material quality, non-compliance with technological processes, and human factors. A cause-and-effect diagram demonstrates the influence of design work, materials, operational processes, and human factors on pavement quality. Modern control methods, such as laser scanning and IoT systems, have shown high accuracy and speed, significantly outperforming traditional methods. *Discussion and conclusion*. The study confirms that implementing innovative solutions, including automation and digital technologies, helps reduce repair costs, extend road lifespan, and enhance operational reliability. Optimizing road pavement construction requires strict adherence to technological standards, the use of high-quality materials, and continuous monitoring. Promising future directions include the application of artificial intelligence, robotic systems, and sensor-based pavements. The adoption of these technologies will enable predictive road maintenance methods, improving the efficiency of transport infrastructure management.

Keywords: road pavement, pavement laying, quality control, automation, digital technologies, road durability, monitoring, innovative methods.

For citation: Gissin V. Improvement of road pavement processes. *Vestnik of Rostov State University of Economics (RINH).* 2025;3(32):108-115. doi: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2025.91.3.009.

Введение

Дорожная одежда представляет собой многослойную конструкцию, которая должна обеспечить прочность, долговечность и безопасность дорожного покрытия. Качество процессов укладки покрытия напрямую влияет на срок службы дороги, комфорт водителей и пешеходов, а также на экономические затраты на ремонт и содержание. В связи с этим совершенствование процесса укладки дорожной одежды остается актуальной задачей для дорожного строительства.

Материалы и методы

В процессе укладки дорожной одежды возникает необходимость использования различных инструментов и методов, позволяющих выявить качество управления процессами, возникающие дефекты, которые приводят к снижению качества дорожного покрытия.

Для снижения потерь в процессе укладки дорожной одежды применяют комплексный, системный, процессный подход и различные методы и инструменты, среди которых используются статистический контроль, статистическое управление процессами, визуализация и др.

Особое место на этапах жизненного цикла строительства дороги занимают различные методы контроля, позволяющие значительно повысить качество строительства и эксплуатацию автомобильных дорог. При строительстве дорог применяют такие методы, как: бесконтактная диагностика, автоматизированные системы мониторинга, мобильные лаборатории и экспресс-методы, интеллектуальные датчики и др. Перечисленные методы отличаются высокой точностью, скоростью процессов контроля и позволяют выявлять дефекты на ранних стадиях.

Результаты исследования

Рассматривая процессы укладки дорожной одежды, следует выделить основные проблемы, к которым относятся:

– неравномерное уплотнение покрытия, приводящее к образованию колеи и трещин в поверхности дороги;

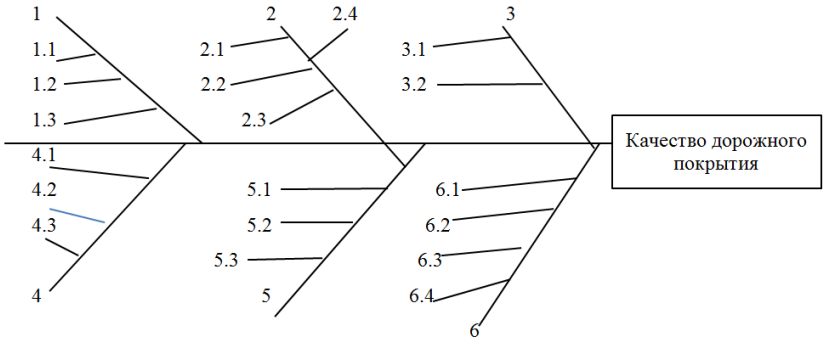
– низкое качество материалов и компонентов, снижающих прочность покрытия;

– несоответствие технологических процессов заданным условиям, среди которых следует отметить температурные режимы, скорость укладки и другие параметры;

– человеческий фактор, приводящий к ошибкам процессов при проектировании, укладке покрытия и контроле качества.

Перечисленные проблемы зависят от множества факторов, влияющих на качество дорожного покрытия в процессе жизненного цикла, начиная от проектирования и заканчивая эксплуатацией. Понимание этих факторов позволит повысить долговечность дорожных конструкций и снизить затраты на их содержание [4].

На рисунке 1 приведены причинно-следственные связи факторов, влияющих на качество дорожного покрытия.



1 Проектно-конструкторские работы: 1.1 Качество расчетов, 1.2 Выбор конструкции дорожной одежды, 1.3 Климатические особенности региона; 2 Сырье, материалы: 2.1 Щебень, 2.2 Битум, 2.3 Асфальтобетон, 2.4 Геосинтетика; 3 Процесс: 3.1 Режим при укладке полотна, 3.2 Процесс уплотнения покрытия; 4 Эксплуатация покрытия: 4.1 Интенсивность движения, 4.2 Воздействия внешней среды, 4.3 Качество содержания дорожного покрытия; 5 Человеческий фактор: 5.1 Квалификация рабочих, 5.2 Соблюдение технологических регламентов, 5.3 Качество контроля на всех этапах; 6 Методы обеспечения качества: 6.1 Комплексный контроль материалов, 6.2 Автоматизация технологических процессов, 6.3 Постоянный мониторинг покрытия, 6.4 Своевременное профилактическое обслуживание.

Рисунок 1 – **Причинно-следственная диаграмма факторов, влияющих на качество покрытия**

Figure 1 – **Cause-and-effect diagram of factors affecting pavement quality**

Рассматривая причинно-следственные связи, представленные на рисунке 1, следует отметить, что качество дорожного покрытия формируется под воздействием таких факторов, как профессиональное (грамотное) проектирование покрытия, применение материалов для дороги высокого уровня качества, обязательное соблюдение процессов укладки дороги и правильная ее эксплуатация.

Современный подход требует комплексного учета всех перечисленных факторов на протяжении всего жизненного цикла дорожного покрытия.

Обсуждение

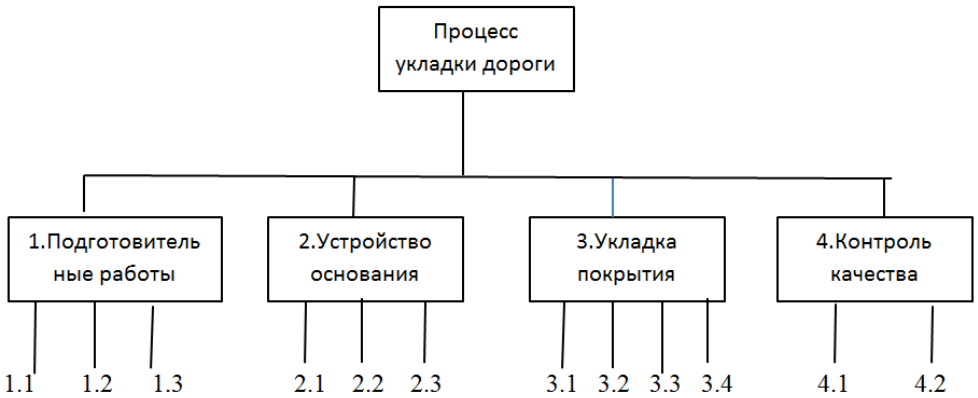
В процессе укладки дорожного покрытия на каждом жизненном этапе возможны различные потери, которые приводят к увеличению стоимости и снижают долговечность дороги.

О возникающих потерях и их видах, связанных с производственными процессами, указывал в своей работе Таити Оно [5]. Он обращал внимание на возникновение потерь на любом этапе процессов. Следует отметить, что Таити Оно еще во второй половине прошлого столетия выделил семь видов потерь в производственной среде, такие как: перепроизводство, время ожидания, ненужная транспортировка, лишние этапы обработки, лишние запасы, ненужные перемещения, выпуск дефектной продукции.

Таити Оно отмечал, что повышение эффективности возможно только в том случае, когда «потери будут сведены к нулю, а производительность процессов будет приближена к 100 %» [5, с. 54].

Рассматривая производство дорожного покрытия, следует отметить, что это сложный технологический процесс, состоящий из несколько этапов. На каждом этапе возможно возникновение потерь, связанных с материалами, процессом производства дороги и др., которые могут привести к увеличению стоимости строительства и снижению надежности дороги.

Рассмотрим процесс укладки дорожного покрытия, представленный диаграммой на рисунке 2.



1 Подготовительные работы: 1.1 Разметка и планировка в соответствии с проектной документацией, 1.2 Выемка грунта, 1.3 Устройство земляного полотна (уплотнение грунта, создание проектного профиля); 2 Устройство основания: 2.1 Укладка песчано-гравийной подушки, 2.2 Монтаж слоев щебня, 2.3 Применение геосинтетических материалов (геотекстиль, геосетки для армирования); 3 Укладка асфальтобетонного покрытия: 3.1 Доставка смеси (температурный контроль, предотвращение остывания), 3.2 Распределение асфальта асфальтоукладчиком, 3.3 Предварительное уплотнение виброплитами или гладковальцовыми катками, 3.4 Окончательное уплотнение тяжелыми катками; 4 Контроль качества и сдача объекта: 4.1 Лабораторные испытания, 4.2 Визуальный осмотр (трещины, шелушение, дефекты).

Рисунок 2 – **Процесс укладки дорожного покрытия**
Figure 2 – **Road pavement laying process**

При укладке дорожного покрытия возможно появление потерь в процессе работ. К таким потерям следует отнести: неравномерное уплотнение грунта, ошибки в геодезической разметке, проседание щебня из-за недостаточного уплотнения, размывание основания при плохом водоотведении, температурные потери, неравномерную укладку, недокатку или перекатку – снижение прочности или растрескивание, брак из-за несоблюдения технологии и др.

Обобщая изложенное, отметим основные виды потерь (табл. 1).

Таблица 1 – **Основные виды потерь при укладке дороги** [4]
Table 1 – **Main types of losses during road paving** [4]

Тип потерь	Причины
Материальные	Перерасход смеси, утеря щебня, брак геосинтетики
Временные	Простои из-за погоды, поломки техники, несвоевременная поставка материалов
Энергетические	Неоптимальный режим работы техники
Качественные	Нарушение технологии уплотнения, остывание смеси

Процесс укладки дорожного покрытия требует строгого соблюдения технологических норм на всех этапах. Основные потери могут быть связаны с нарушением температурных режимов, недостаточным контролем уплотнения и человеческим фактором.

Для минимизации потерь целесообразно использовать современные материалы, автоматизацию процессов и повышение квалификации персонала.

Оптимизация цикла укладки дорожного покрытия позволит снизить затраты и повысить его долговечность.

Следует обратить внимание на применяемый контроль при укладке дорожного покрытия, так как качественная укладка дороги требует строгого соблюдения норм на всех этапах строительства. Контроль в процессе строительства включает: проверку материалов, оценку технологических процессов, проверку соответствия готового покрытия проектным требованиям. Контроль позволяет минимизировать дефекты, увеличить срок службы дороги и снизить затраты на ремонт.

На рисунке 3 приведены виды контроля при укладке дорожного покрытия.

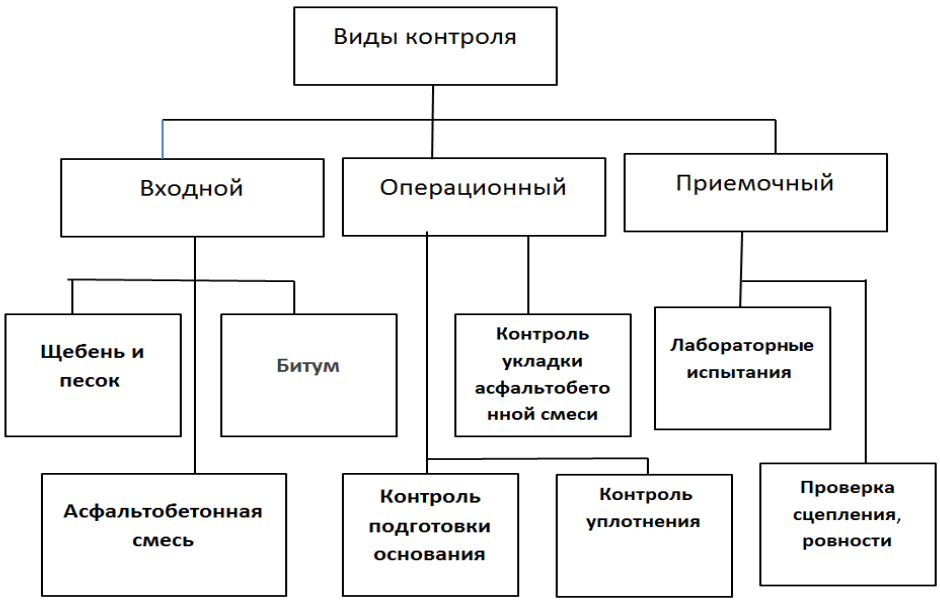


Рисунок 3 – **Виды контроля при укладке дорожного покрытия**
Figure 3 – **Types of inspection during road pavement laying**

При входном контроле используют лабораторные испытания, а также визуальный осмотр и сертификаты соответствия от поставщиков.

В процессе операционного контроля осуществляется проверка плотности грунта и щебеночных слоев, ровность поверхности, геометрические параметры. При укладке асфальтобетонной смеси контролируют: температуру смеси, толщину слоя и ровность укладки. Осуществляется контроль уплотнения – плотность покрытия и отсутствие трещин и волн.

В процессе приемочного контроля проводят: лабораторные испытания, измерение ровности, проверку сцепления.

При укладке дорожного покрытия контролируют соответствие материалов принятым нормам, технологических процессов и конечного качества. Соблюдение нормативов позволяет повысить надежность и безопасность дорог.

Для повышения качества дорожного покрытия целесообразно использовать современные методы контроля, позволяющие значительно повысить качество строительства и эксплуатацию автомобильных дорог. Новые методы отличаются высокой точностью, скоростью процессов контроля и позволяют выявлять дефекты на ранних стадиях.

В настоящее время при строительстве дорог применяют следующие технологии:

– бесконтактные методы диагностики (лазерное сканирование, инфракрасная термография);

– автоматизированные системы мониторинга (BIM-технологии в дорожном строительстве, системы машинного зрения);

– мобильные лаборатории и экспресс-методы (использование беспилотных летательных аппаратов, динамические методы контроля);

– интеллектуальные датчики и IoT-системы (сенсоры, встроенные в дорожное полотно, системы «умная дорога»).

Рассмотрим краткую характеристику современных методов контроля.

Лазерное сканирование выявляет неровности, колейность, деформации покрытия при точности измерений до 1 мм [1].

Инфракрасная термография осуществляет контроль температурных полей при укладке асфальтобетона, выявляет участки с неравномерным охлаждением и скрытые дефекты.

Автоматизированные системы мониторинга осуществляют цифровое моделирование всего жизненного цикла дороги, контроль соответствия выполнения работ, прогнозирование дефектов и сроков службы [2].

Применение системы машинного зрения позволяет проводить автоматический анализ изображений с камер дорожного покрытия, выявлять трещины, выбоины, деформации и др.

Применение беспилотных летательных аппаратов дает возможность провести мультиспектральный анализ состояния покрытия при оперативном мониторинге больших территорий.

С целью постоянного мониторинга качества дорожного покрытия используют встроенные сенсоры в дорожное полотно, определяющие деформацию, температуру, влажность, что позволяет прогнозировать разрушения.

При применении системы «умная дорога» осуществляется автоматический сбор данных о состоянии покрытия, интеграция с системами управления дорожным движением, что позволяет своевременно планировать ремонтные работы.

Рассмотрим преимущества современных методов по сравнению с традиционным контролем (табл. 2).

Таблица 2 – **Сравнение методов контроля дорожного полотна** [4]
Table 2 – **Comparison of road surface control methods**

Метод	Традиционный контроль	Современный контроль
Скорость выполнения	1-2 дня на участок	1-2 часа на участок
Точность измерений	±5-10 %	±1-2 %
Объем получаемых данных	Ограниченный	Полный цифровой отчет
Возможность прогноза	Нет	Есть (с помощью ИИ)

Как видно из данных таблицы 2, современные методы контроля значительно сокращают потери на контроль и повышают качество процессов.

В работе [6] приводятся перспективные направления развития при строительстве дорог, среди которых для анализа данных диагностики используют искусственный интеллект, автономные роботизированные системы контроля, сенсорные покрытия с постоянным мониторингом состояния и др.

Заключение

Совершенствование процессов укладки дорожной одежды требует комплексного подхода – от выбора качественных материалов до внедрения цифровых технологий и автоматизации. Оптимизация этих процессов позволит повысить долговечность дорожных покрытий, снизить затраты на ремонт и улучшить безопасность дорожного движения. Внедрение инновационных решений – ключевой фактор развития дорожной инфраструктуры в современных условиях.

Внедрение цифровых технологий позволит перейти от планово-предупредительных к прогнозным методам содержания дорожной сети, что значительно повысит эффективность управления транспортной инфраструктурой.

Список литературы

1. ГОСТ Р 58888-2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Методы лазерного сканирования». – Введ. 2021-07-01.

2. ГОСТ 9128-2013 «Смеси асфальтобетонные, дорожные, аэродромные и асфальтобетон. Технические условия». – Введ. 2015-01-01.

3. СП328.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла» : утв. Приказом Министерства строительства России от 29.12.2017 № 1812/пр.

4. ОДМ 218.4.005-2010 «Методика оценки ровности покрытия автомобильных дорог по данным лазерного сканирования» : утв. распоряжением Росавтодора от 15.03.2010 № 136-р.

5. *Оно, Таити.* Производственная система Тойоты. Уходя от массового производства. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2006. – 208 с.

6. Инновационные технологии в дорожном строительстве / М. И. Харун, К. А. Костюкова, Г. А. Харисова, А. С. Матлахова, А. Р. Махиянова // Системные технологии. – 2017. – № 22. – С. 5-8.

References

1. GOST R 58888-2020 «Public Roads. Laser Scanning Methods». – Enforced 2021-07-01.

2. GOST 9128-2013 «Asphalt Concrete Mixtures, Road, Airfield, and Asphalt Concrete. Technical Specifications». – Enforced 2015-01-01.

3. SP 328.1325800.2017 «Information Modeling in Construction. Rules for Forming an Information Model of Objects at Various Lifecycle Stages» : approved by Order of Russian Ministry of Construction № 1812/pr from 29.12.2017.

4. ODM 218.4.005-2010 «Methodology for Assessing the Evenness of Road Pavements Using Laser Scanning Data» : approved by Rosavtodor Order № 136-r from 15.03.2010.

5. *Ohno, Taiichi.* Toyota production system: Beyond large-scale production. – 2nd ed., rev. and exp. – M., 2006. – 208 p.

6. Innovative technologies in road construction / M. Kharun, K. Kostyukova, G. Kharisova, A. Matlakhova, A. Makhiyanova // System Technologies. – 2017. – № 22. – P. 5-8.

Об авторах:

Гиссин Виталий Исаевич, *доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры товароведения и управления качеством Ростовского государственного экономического университета (РИНХ), Ростов-на-Дону, Россия, givi41@mail.ru*

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

About the Authors:

Vitaliy Gissin, *Dr. Sci. (Econ.), Professor, Professor of the Department of Commodity Science and Quality Management, Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don, Russia, givi41@mail.ru*

Conflict of Interest: The author declare no conflicts of interest.

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)