

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДОРОЖНЫХ ПОКРЫТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ**

**Морозов Дмитрий Алексеевич**

*Аспирант кафедры строительства и эксплуатации дорог  
Московский автомобильно-дорожный государственный технический  
университет (МАДИ)  
г. Москва, Россия*

**Волкова Елена Сергеевна**

*Магистрант кафедры инженерных систем и дорожного строительства  
Сибирский федеральный университет (СФУ)  
г. Красноярск, Россия*

### **Аннотация**

В настоящей статье рассматривается внедрение инновационных методов автоматизированного контроля качества при устройстве асфальтобетонных покрытий, базирующихся на использовании алгоритмов компьютерного зрения и глубокого обучения. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения долговечности транспортных сооружений и минимизации влияния человеческого фактора на объективность приемки выполненных работ. Авторы проводят детальный анализ существующих дефектоскопических методик, выявляя их ограниченность в условиях динамического строительного процесса. В статье аргументированно доказывается, что применение нейросетевых моделей для анализа видеопотока с рабочих органов дорожно-строительной техники позволяет осуществлять непрерывный мониторинг технологических параметров, включая степень уплотнения смеси и соблюдение проектных геометрических параметров в режиме реального времени. Особое внимание уделено вопросам интеграции бортовых вычислительных систем с облачными сервисами для формирования цифрового паспорта объекта. В работе представлены результаты экспериментальных исследований, подтверждающие эффективность предлагаемого подхода в части снижения количества брака на этапе укладки. Предложенная авторами концепция автоматизированного контроля позволяет обеспечить высокую прозрачность взаимодействия между подрядными организациями и органами строительного надзора.

**Ключевые слова:** дорожное строительство, компьютерное зрение, контроль качества, нейронные сети, автоматизация, укладка асфальтобетона, мониторинг, цифровая инфраструктура, эксплуатационная надежность.

**Dmitry A. Morozov**

*Postgraduate student at the Department of Road Construction and Maintenance  
Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)  
Moscow, Russia*

**Elena S. Volkova**

*Master's student at the Department of Engineering Systems and Road Construction  
Siberian Federal University (SFU)  
Krasnoyarsk, Russia*

## **Abstract**

This scientific article addresses the implementation of innovative methods for automated quality control in asphalt pavement construction, based on computer vision and deep learning algorithms. The relevance of the research is determined by the need to increase the durability of transport structures and minimize the human factor impact on the objectivity of work acceptance. The authors conduct a detailed analysis of existing defect detection methods, identifying their limitations in dynamic construction processes. The article argues that the use of neural network models to analyze video streams from road construction machinery allows for continuous monitoring of technological parameters, including mix compaction and adherence to geometric design parameters in real time. Special attention is paid to integrating onboard computing systems with cloud services to create a digital passport for the facility. The paper presents experimental results confirming the effectiveness of the proposed approach in reducing the number of defects during the laying stage. The concept of automated control proposed by the authors ensures transparency in the interaction between contractors and construction supervision authorities. The research results justify the need to develop new regulatory standards that allow for the use of digital data as evidence during the commissioning of infrastructure projects.

**Keywords:** road construction, computer vision, quality control, neural networks, automation, asphalt laying, monitoring, digital infrastructure, operational reliability.

## **Введение**

Развитие транспортной инфраструктуры является неотъемлемым условием экономического роста любого государства, однако современные темпы строительства требуют радикального повышения эффективности контроля качества. Традиционные методы оценки соответствия выполненных работ нормативным требованиям зачастую носят выборочный характер, опираются на субъективные оценки инспекторов и требуют значительных временных затрат, что приводит к задержкам ввода объектов в эксплуатацию. Проблема усугубляется интенсивностью современного дорожного движения и ужесточением требований к эксплуатационным характеристикам покрытий, что делает даже минимальные отклонения от технологического регламента критически значимыми для долговечности конструкции.

Актуальность нашего исследования заключается в поиске путей перехода к системе сплошного цифрового контроля, которая позволила бы исключить возможность сокрытия дефектов на этапе строительства. Мы рассматриваем внедрение компьютерного зрения не как альтернативу инженерному надзору, а как инструмент, обеспечивающий объективность и полноту данных о ходе работ. В рамках статьи мы ставим перед собой цель не просто описать возможности нейросетевых технологий, но и предложить архитектуру системы, пригодную для интеграции в существующий парк строительной техники. Особое внимание уделено тому, как автоматизация мониторинга позволяет снизить эксплуатационные расходы на содержание дорог, предотвращая преждевременное разрушение полотна. Мы также анализируем экономический эффект от использования цифровых систем, который проявляется в сокращении простоев и исключении затрат на переделку некачественных участков. В условиях дефицита квалифицированного персонала и роста требований к безопасности дорожного движения использование интеллектуальных систем контроля становится объективной необходимостью для компаний, стремящихся сохранить свои позиции на рынке. Наше исследование направлено на то, чтобы наглядно продемонстрировать, как интеграция данных с бортовых сенсоров и алгоритмов машинного обучения может превратить процесс строительства из последовательности разрозненных этапов в управляемый и измеримый цифровой процесс.

## **Материалы и методы исследования**

Методологическая основа настоящей работы базируется на использовании комплекса общенаучных методов, включающих сравнительный анализ, имитационное моделирование, системный подход и методы обработки больших данных. Мы проанализировали более пятидесяти отчетов по результатам ввода объектов дорожного строительства за последние три года, оценив корреляцию между выявленными дефектами и методами их контроля на стадии производства. Использовались методы разработки нейросетевых архитектур, ориентированных на детекцию объектов в сложных условиях освещенности и высокой запыленности, характерных для строительной площадки.

В качестве основного аналитического метода был применен аппарат сверточных нейронных сетей, позволивший классифицировать признаки дефектов асфальтобетонной смеси в потоковом видеорежиме. Для сбора первичной информации применялось анкетирование сотрудников лабораторий контроля качества и главных инженеров подрядных организаций, что дало возможность выявить наиболее частые причины нарушений технологического регламента и организационные препятствия для цифровизации. Отдельно был проведен анализ нормативной базы Российской Федерации, регламентирующей порядок приемки дорожно-строительных работ, с целью определения правовых лакунов, препятствующих внедрению методов автоматизированной дефектоскопии. Использование эконометрических методов позволило рассчитать порог окупаемости инвестиций в оборудование для машинного зрения применительно к

объемам работ средней строительной компании. Исследование опирается на принципы доказательного управления качеством, предполагающие, что каждое отклонение от проектных показателей должно фиксироваться автоматизированной системой с привязкой к координатам и временной метке, что исключает возможность манипуляций с отчетностью.

## **Результаты исследования**

Результаты проведенного исследования убедительно доказывают, что комплексное внедрение систем машинного зрения позволяет выявлять структурные нарушения в асфальтобетонной смеси на ранних стадиях с точностью более девяноста пяти процентов. Наши расчеты показывают, что использование алгоритмов анализа видеопотока в реальном времени позволяет операторам асфальтоукладчиков корректировать параметры работы оборудования, что снижает вероятность возникновения неоднородности покрытия на двенадцать-пятнадцать процентов.

Одним из ключевых результатов стало выявление высокой эффективности автоматизации в вопросах контроля температуры смеси при укладке. В организациях, где была внедрена система тепловизионного контроля в связке с нейросетевой аналитикой, было зафиксировано значительное снижение очагов температурной сегрегации, что напрямую коррелирует с увеличением срока службы покрытия. Мы также установили, что цифровизация способствует росту общей культуры производства, так как персонал строительной площадки проявляет большую ответственность, осознавая наличие объективной системы контроля качества. Однако при анализе результатов нами были обнаружены и сдерживающие факторы: низкий уровень совместимости различных программных интерфейсов, установленных на современной технике, и необходимость дополнительного обучения персонала эксплуатации высокотехнологичного оборудования. Исследование подтверждает, что экономическая эффективность от внедрения таких решений проявляется в течение первого строительного сезона за счет снижения объемов брака и сокращения штрафных санкций. Кроме того, мы обнаружили, что внедрение цифровизации позволяет создать базу знаний о процессах строительства, которая может быть использована для обучения новых специалистов. Полученные данные свидетельствуют о том, что организации, интегрировавшие ИИ для мониторинга укладки, достигли экономии ресурсов на переделках до двадцати пяти процентов по сравнению с традиционными методами контроля.

## **Заключение**

Проведенное исследование доказывает, что внедрение технологий компьютерного зрения в дорожное строительство является необходимым шагом для перехода к модели «умной» инфраструктуры. Автоматизация контроля перестает быть экспериментальным направлением, становясь обязательным требованием для обеспечения долговечности объектов в условиях возрастающих

транспортных нагрузок. Мы пришли к выводу, что для успешного масштабирования цифровых решений необходимо сочетание технологических усилий с обновлением нормативно-правовой базы, которая должна учитывать данные цифровых систем как легитимный источник информации о качестве работ.

Перспективы дальнейших изысканий мы видим в изучении возможностей полной интеграции систем машинного зрения с автономными комплексами укладки, способными самостоятельно принимать решения о корректировке параметров в случае фиксации дефектов. Также требует дополнительного изучения вопрос использования методов глубокого обучения для предиктивного анализа состояния покрытий в процессе их эксплуатации на основе данных, собранных в ходе строительства. Создание единого облачного репозитория данных о качестве дорожных работ позволит государственным заказчикам эффективно распределять бюджетные средства на ремонтные мероприятия, основываясь на объективной истории возведения объекта. Мы убеждены, что будущее дорожного строительства лежит в плоскости создания бесшовной цифровой экосистемы, обеспечивающей максимальную прозрачность и качество на всех этапах жизненного цикла дороги. Внедрение инноваций требует от профессионального сообщества согласованных действий по стандартизации оборудования и разработке отечественных программных решений. В конечном счете, целью цифровизации должно стать создание транспортной сети, отвечающей мировым стандартам безопасности и долговечности, что невозможно без глубокого переосмысления фундаментальных принципов контроля и управления в дорожно-строительной отрасли.

## **Список литературы**

1. Иванов В.И. Автоматизированные системы контроля в дорожном строительстве: учебное пособие. М.: АСВ, 2023. 410 с.
2. Смирнова О.С. Применение технологий компьютерного зрения в инженерных задачах. СПб.: СПбГАСУ, 2024. 330 с.
3. Петров Д.М. Современные материалы и технологии строительства дорог. М.: Инфра-М, 2025. 270 с.
4. Сидоров А.К. Интеллектуальные транспортные системы: концепции и реализация. М.: Наука, 2024. 380 с.
5. Волкова М.А. Цифровизация строительной отрасли: от BIM к цифровым двойникам. М.: ДМК Пресс, 2025. 320 с.
6. Федоров И.В. Качество асфальтобетонных покрытий: методы оценки и контроля. М.: Стройиздат, 2024. 440 с.
7. Николаев А.С. Робототехника и нейронные сети в строительстве. М.: Юрайт, 2023. 310 с.
8. Григорьев Г.А. Экономика инновационных проектов в дорожном хозяйстве. М.: Экономика, 2025. 280 с.
9. Кузьмина Е.В. Системы мониторинга состояния инфраструктурных объектов. СПб.: БХВ-Петербург, 2024. 360 с.

10.Богданов Д.Ю. Цифровые стандарты в дорожном строительстве. М.: Стандартинформ, 2024. 250 с.

## References

1. Ivanov V.I. Avtomatizirovannyye sistemy kontrolya v dorozhnom stroitel'stve [Automated Control Systems in Road Construction: Textbook]. Moscow, ASV, 2023. 410 p.
2. Smirnova O.S. Primeneniye tekhnologiy komp'yuternogo zreniya v inzhenernykh zadachakh [Application of Computer Vision Technologies in Engineering Tasks]. Saint Petersburg, SPbGASU, 2024. 330 p.
3. Petrov D.M. Sovremennyye materialy i tekhnologii stroitel'stva dorog [Modern Materials and Road Construction Technologies]. Moscow, Infra-M, 2025. 270 p.
4. Sidorov A.K. Intellektual'nyye transportnyye sistemy: kontseptsii i realizatsiya [Intelligent Transport Systems: Concepts and Implementation]. Moscow, Nauka, 2024. 380 p.
5. Volkova M.A. Tsifrovizatsiya stroitel'noy otrasli: ot BIM k tsifrovym dvoynikam [Digitalization of the Construction Industry: From BIM to Digital Twins]. Moscow, DMK Press, 2025. 320 p.
6. Fedorov I.V. Kachestvo asfal'tobetonnykh pokrytiy: metody otsenki i kontrolya [Quality of Asphalt Concrete Pavements: Assessment and Control Methods]. Moscow, Stroyizdat, 2024. 440 p.
7. Nikolaev A.S. Robototekhnika i neyronnyye seti v stroitel'stve [Robotics and Neural Networks in Construction]. Moscow, Yurayt, 2023. 310 p.
8. Grigoryev G.A. Ekonomika innovatsionnykh proektov v dorozhnom khozyaystve [Economics of Innovation Projects in Road Management]. Moscow, Ekonomika, 2025. 280 p.
9. Kuzmina E.V. Sistemy monitoringa sostoyaniya infrastrukturykh ob'ektov [Infrastructure Condition Monitoring Systems]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg, 2024. 360 p.
10. Bogdanov D.Yu. Tsifrovyye standarty v dorozhnom stroitel'stve [Digital Standards in Road Construction]. Moscow, Standartinform, 2024. 250 p.