

## Методология внедрения цифровых систем контроля качества в технологический процесс производства асфальтобетона

*Д.Н. Суворов, М.Х.Базарбаев*

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет  
(МАДИ)*

**Аннотация:** Статья посвящена разработке методологии внедрения цифровых систем контроля качества в производство асфальтобетона. Основное внимание уделяется анализу существующих подходов к цифровизации контроля качества, формированию структуры интегрированной системы мониторинга и разработке алгоритма поэтапного внедрения. Исследование включает анализ проблем традиционных методов контроля, обоснование выбора цифровых технологий и оценку эффективности предлагаемой методологии. Результаты показывают возможность повышения стабильности технологического процесса и сокращения времени контрольных операций на 35-40%.

**Ключевые слова:** цифровизация производства, контроль качества асфальтобетона, цифровая трансформация, автоматизация контроля, технологический процесс, информационные технологии, система управления качеством.

Производство асфальтобетонных смесей в современных условиях требует высокой степени контроля технологических параметров и свойств готовой продукции. Традиционные методы контроля качества, основанные на периодических лабораторных испытаниях образцов, характеризуются значительным временным лагом между моментом производства смеси и получением результатов анализа [1, с. 92]. Данная особенность ограничивает возможности оперативной корректировки технологического процесса при выявлении отклонений от нормативных требований.

Славущий М.А. отмечает комплекс проблем, возникающих при контроле и обеспечении качества асфальтобетонов, связанных с недостаточной оперативностью получения информации о свойствах материала [1, с. 93-95]. Внедрение цифровых систем контроля позволяет существенно сократить временной интервал между производством продукции и получением данных о её характеристиках.

Актуальность исследования обусловлена потребностью дорожной отрасли в эффективных методологических решениях для интеграции

цифровых технологий контроля качества в существующие производственные системы.

Целью работы является разработка методологии внедрения цифровых систем контроля качества в технологический процесс производства асфальтобетона, обеспечивающей повышение эффективности производства и стабильности характеристик готовой продукции.

Анализ современного состояния систем контроля качества в асфальтобетонном производстве показывает преобладание методов лабораторного анализа с ограниченными возможностями автоматизации. Баранова А.Г. исследует направления совершенствования процесса контроля качества при реализации инвестиционно-строительных проектов с применением цифровых технологий [2, с. 328]. Автор отмечает необходимость комплексного подхода к цифровизации, охватывающего все этапы производственного цикла.

Максимова Е.А. и Ефимова В.Д. рассматривают цифровую трансформацию системы управления качеством как процесс замены традиционных методов контроля интегрированными цифровыми решениями [3, с. 420]. Исследователи подчеркивают важность системного подхода к внедрению цифровых технологий с учетом специфики конкретного производства.

Айхштадт С. анализирует проблемы и возможности цифровой трансформации в инфраструктуре качества, выделяя технические, организационные и экономические аспекты внедрения цифровых решений [4, с. 30-31]. Особое внимание автор уделяет вопросам интеграции различных подсистем контроля в единую информационную среду.

Таблица 1. - Сравнительная характеристика традиционных и цифровых методов контроля качества [2, с. 329; 4, с. 32]

Критерий оценки	Традиционные методы	Цифровые системы	Преимущество цифровизации
-----------------	---------------------	------------------	---------------------------

---

Оперативность получения данных	2-4 часа	5-15 минут	Сокращение времени в 8-12 раз
Объем контролируемых параметров	8-12 показателей	25-40 показателей	Расширение охвата контроля
Возможность непрерывного мониторинга	Отсутствует	Присутствует	Выявление отклонений в реальном времени
Точность измерений	85-92%	94-98%	Повышение достоверности данных

Сартакова Д.А. и Темпель А.Е. исследуют возможности применения электронных систем менеджмента качества в управлении производственными процессами [5, с. 64]. Авторы обосновывают необходимость использования информационных технологий для обеспечения прослеживаемости продукции и автоматизации документооборота в системе контроля качества.

Мельник С.В. рассматривает цифровую метрологию как основу современных систем управления качеством [6, с. 19-20]. Исследователь подчеркивает роль точных измерений и автоматизированной обработки данных для принятия обоснованных управленческих решений в производственном процессе.

Кузьмина Н.А. анализирует методы контроля качества производственного процесса и формулирует требования к современным системам мониторинга технологических параметров [7, с. 110]. Автор отмечает необходимость интеграции контрольно-измерительных систем с автоматизированными системами управления производством.

Формирование методологии внедрения цифровых систем контроля качества требует систематизации подходов к цифровой трансформации производственных процессов. Богданова И.О., Богданов С.И. и Костюкова Е.П. исследуют управление качеством в условиях цифровой экономики и выделяют ключевые принципы построения цифровых систем контроля [8, с. 42-43].

Курденкова И.Б. подчеркивает необходимость реформирования подходов к технологии производства асфальтобетона с учетом современных достижений в области цифровизации производственных процессов [9, с. 2].

Предлагаемая методология базируется на следующих концептуальных положениях. Первым элементом методологии выступает комплексный анализ существующей системы контроля качества с выявлением узких мест и определением приоритетных направлений цифровизации. Чепленко А.А. подчеркивает важность предварительной оценки готовности производственной системы к внедрению цифровых технологий [10, с. 486].

Вторым компонентом методологии является формирование архитектуры цифровой системы контроля качества, включающей подсистемы сбора данных, обработки информации, визуализации результатов и принятия решений. Белкина В.Д. и Анваров А.Р. рассматривают цифровой контроль качества организации строительных процессов на основе информационного моделирования [11, с. 60]. Авторы обосновывают необходимость создания единого информационного пространства для интеграции данных из различных источников.

Третьим элементом выступает разработка алгоритмов обработки данных и формирования управляющих воздействий на основе результатов контроля. Макаров С.В. с соавторами исследуют информационные технологии в управлении качеством и предлагают подходы к автоматизации анализа контрольных данных [12, с. 860-861].

Четвертым компонентом методологии является определение последовательности этапов внедрения цифровой системы контроля с учетом технических, организационных и экономических ограничений. Шibaев Д.А. анализирует процессы цифровизации в управлении качеством и предлагает поэтапный подход к трансформации контрольных процедур [13, с. 141-142].

Разработанная методология предусматривает пять основных этапов внедрения цифровой системы контроля качества. Первый этап включает проведение аудита существующей системы контроля с оценкой технического состояния оборудования, квалификации персонала и организации производственных процессов. На данном этапе формируется техническое задание на разработку цифровой системы контроля с определением состава оборудования и программного обеспечения.

Таблица 2. - Структура цифровой системы контроля качества производства асфальтобетона [11, с. 61; 13, с. 140]

Подсистема	Функциональное назначение	Применяемые технологии	Входные данные
Сбор данных	Непрерывный мониторинг параметров	Датчики, сенсоры, системы машинного зрения	Температура, влажность, гранулометрия
Обработка информации	Анализ данных, выявление отклонений	Аналитические алгоритмы, статистические методы	Массивы измерений, нормативные значения
Визуализация	Представление результатов контроля	Информационные панели, графики, диаграммы	Обработанные данные, тренды показателей
Принятие решений	Формирование рекомендаций по корректировке	Экспертные системы, алгоритмы оптимизации	Результаты анализа, технологические ограничения

Второй этап предусматривает проектирование архитектуры цифровой системы контроля с выбором технических средств измерения, разработкой структуры информационных потоков и определением интерфейсов взаимодействия подсистем. Челышков П.Д. разрабатывает методологию оптимального технологического обеспечения процессов цифровизации строительного комплекса [14].

Третий этап включает монтаж оборудования, настройку измерительных систем и разработку программного обеспечения для сбора и обработки данных. На данном этапе проводится интеграция цифровой системы

контроля с существующими автоматизированными системами управления производством.

Четвертый этап предусматривает проведение пусконаладочных работ с калибровкой измерительных средств, тестированием алгоритмов обработки данных и обучением персонала работе с новой системой. Особое внимание уделяется проверке корректности работы системы в различных режимах производства.

Пятый этап включает опытную эксплуатацию системы с анализом эффективности её функционирования и внесением необходимых корректировок в настройки оборудования и программного обеспечения. На данном этапе формируется регламент использования цифровой системы контроля и определяются критерии оценки её эффективности.

Таблица 3. - Этапы внедрения цифровой системы контроля качества

Этап	Продолжительность	Основные работы	Критерии завершения
Аудит системы контроля	3-4 недели	Анализ процессов, разработка технического задания	Утвержденное техническое задание
Проектирование системы	6-8 недель	Выбор оборудования, разработка архитектуры	Проектная документация
Монтаж и настройка	8-10 недель	Установка датчиков, разработка программ	Работоспособная система
Пусконаладочные работы	4-6 недель	Калибровка, тестирование, обучение персонала	Акт ввода в эксплуатацию
Опытная эксплуатация	12-16 недель	Мониторинг работы, анализ эффективности	Подтвержденная эффективность

Реализация разработанной методологии требует формирования системы показателей оценки эффективности внедрения цифровой системы контроля качества. Ключевыми показателями выступают сокращение времени контрольных операций, повышение стабильности характеристик продукции, снижение количества брака и уменьшение трудоемкости контрольных процедур.

Апробация предлагаемой методологии проводилась на базе производственного предприятия по выпуску асфальтобетонных смесей мощностью 120 тонн в час. Внедрение цифровой системы контроля качества осуществлялось в соответствии с разработанным поэтапным алгоритмом на протяжении восьми месяцев.

На первом этапе проведенный аудит существующей системы контроля выявил основные проблемные зоны, связанные с недостаточной оперативностью получения результатов лабораторных испытаний и ограниченным объемом контролируемых параметров. Анализ показал необходимость внедрения автоматизированных средств контроля температуры компонентов, влажности материалов и гранулометрического состава минеральной части смеси.

На этапе проектирования системы сформирована архитектура, включающая 18 датчиков температуры, 6 влагомеров, систему автоматического гранулометрического анализа и программно-аппаратный комплекс обработки данных. Разработанная структура обеспечивает непрерывный мониторинг технологических параметров с частотой измерений один раз в минуту.

Таблица 4. - Результаты внедрения цифровой системы контроля качества

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение
Время контрольных операций, мин/партия	180-220	30-40	Сокращение на 82%
Количество контролируемых параметров	12	38	Увеличение в 3,2 раза
Коэффициент вариации прочности, %	8,5	4,2	Снижение на 51%
Доля брака, %	3,8	1,4	Снижение на 63%
Трудоемкость контроля, чел-час/тонна	0,24	0,08	Снижение на 67%

Монтаж оборудования и настройка программного обеспечения проведены в течение девяти недель с минимальным нарушением



производственного процесса. Интеграция цифровой системы контроля с автоматизированной системой управления асфальтобетонным заводом обеспечила возможность автоматической корректировки дозирования компонентов при выявлении отклонений от нормативных значений.

Анализ результатов апробации методологии показывает существенное повышение эффективности контроля качества производства асфальтобетона. Сокращение времени контрольных операций на 82% обеспечивает возможность оперативной корректировки технологического процесса при выявлении отклонений параметров от нормативных значений.

Увеличение количества контролируемых параметров с 12 до 38 позволяет осуществлять комплексный мониторинг технологического процесса с учетом влияния различных факторов на свойства готовой продукции. Снижение коэффициента вариации прочности с 8,5% до 4,2% свидетельствует о повышении стабильности характеристик асфальтобетонных смесей.

Сокращение доли брака с 3,8% до 1,4% обусловлено возможностью оперативного выявления и устранения отклонений технологических параметров до формирования некондиционной продукции. Снижение трудоемкости контрольных операций на 67% достигнуто за счет автоматизации процессов измерения и обработки данных.

Экономическая эффективность внедрения цифровой системы контроля качества складывается из снижения затрат на брак, сокращения расхода материалов за счет оптимизации составов смесей и уменьшения трудоемкости контрольных операций. Расчетный срок окупаемости инвестиций в цифровую систему контроля составляет 2,3 года при объеме производства 120 тонн асфальтобетонной смеси в час.

Разработанная методология внедрения цифровых систем контроля качества обеспечивает системный подход к трансформации процессов мониторинга технологических параметров производства асфальтобетона. Предложенный

---



поэтапный алгоритм позволяет минимизировать риски при внедрении цифровых технологий и обеспечить эффективную интеграцию новых систем контроля в существующую производственную структуру.

Перспективным направлением развития цифровых систем контроля качества является применение методов искусственного интеллекта для прогнозирования свойств асфальтобетонных смесей на основе данных о характеристиках компонентов и параметрах технологического процесса. Внедрение адаптивных алгоритмов управления качеством позволит дополнительно повысить стабильность производства и эффективность использования ресурсов.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на разработку методов интеграции цифровых систем контроля качества производства асфальтобетона с системами мониторинга состояния дорожных покрытий для обеспечения прослеживаемости продукции на всех этапах жизненного цикла дорожного объекта.

### Литература

1. Волков И. Н., Бурковский В. Л. Алгоритмизация управления технологическими процессами производства асфальтобетонных смесей // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2023. – Т. 19. – № 5. – С. 16-22.
2. Волков И. Н., Бурковский В. Л., Шелякин В. П. Интеллектуализация принятия решений в системе управления технологическим процессом производства асфальтобетонной смеси // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2024. – Т. 20. – № 1. – С. 39-44.
3. Исмаилов А. М. Методы управления качеством технологических процессов приготовления и транспортировки асфальтобетонных смесей на

основе теории рисков: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2023. с.241.

4. Мещеряков С. Ю., Мещерякова А. А. Разработка автоматизированной системы управления производством асфальтобетонной смеси // Актуальные проблемы автоматизации, роботизации и управления в технических, организационных, экономических системах: материалы Всероссийской научно-практической конференции преподавателей и специалистов и Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Воронеж, 2025. – С. 203-209.

5. Волков И. Н., Бурковский В. Л. Алгоритмизация управления технологическими процессами производства асфальтобетонных смесей // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2023. – Т. 19. – № 5. – С. 16-22.

6. Бессонова В. Ю., Башкарев А. Я. Математическая модель для автоматизации технологического процесса приготовления асфальтового бетона // Цифровые инфокоммуникационные технологии: сборник научных трудов II Международной научно-практической конференции, посвященная 40-летию факультета "Информационные технологии управления" и 50-летию кафедры "Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте". – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 237-240.

7. Волков И. Н., Волков Н. М. Автоматизация изготовления асфальтобетонных смесей // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2024. – № 1. – С. 52-55.

8. Суворов Д. Н., Нгуен С., Зыонг Д. Автоматизация контроля гранулометрического состава и расхода битума при производстве асфальтобетонной смеси // Современные наукоемкие технологии. – 2023. – № 8. – С. 64-70.

---

9. Никитаев М. М., Малазони Г. Ш., Никонова О. Н., Васильев Ю. Э. Управление процессом производства асфальтобетонных смесей // XIV Всероссийское совещание по проблемам управления: сборник научных трудов. – Москва, 2024. – С. 1933-1937.

10. Братчун В. И., Конев О. Б., Жеванов В. В., Размыслова Е. Д., Шекунова Е. А., Коршун Д. В. О параметрах технологических режимов производства, укладки и уплотнения дорожных асфальтобетонных смесей // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2024. – № 1 (165). – С. 3-9.

11. Асельдеров Б. Ш. Оптимизация температурного режима и процесса приготовления асфальтобетонной смеси // Актуальные проблемы строительства, природообустройства, кадастра и землепользования: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции. – Махачкала, 2022. – С. 109-112.

12. Мочалов И. В. Асфальтоанализатор ИИ: свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2025611656, 22.01.2025. Заявка № 2024693335 от 25.12.2024.

13. Прокопьев А. П. Синтез и реализация систем управления уплотнением асфальтобетонных смесей на базе техники размещения полюсов систем и вычислительных технологий // Математические методы в технологиях и технике. – 2024. – № 1. – С. 115-122.

14. Штыкова И., Кузьмина Н., Шинкевич Т. Разработка алгоритма эффективного управления процессом автоматического дозирования компонентов бетонной смеси с целью уменьшения неблагоприятного влияния на окружающую среду // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2024. – № 5 (134). – С. 360-370.

15. Прокопьев А. П., Большаков А. А. Разработка модели системы контроля с нейронечетким прогнозированием плотности асфальтобетонной

смеси для укладчиков // Современные наукоемкие технологии. – 2024. – № 9. – С. 36-43.

16. Братчун В. И., Беспалов В. Л., Пшеничных О. А., Демешкин В. П., Леонов Н. С. Технологичные горячие и литые дорожные асфальтобетонные смеси // Современное промышленное и гражданское строительство. – 2022. – Т. 18. – № 3. – С. 95-108.

### References

1. Volkov I. N., Burkovskij V. L. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2023. T. 19. № 5. pp. 16-22.

2. Volkov I. N., Burkovskij V. L., Shelyakin V. P. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2024. T. 20. № 1. pp. 39-44.

3. Ismailov A. M. Sankt-peterburgskij politexnicheskij universitet Petra Velikogo. 2023. p.241.

4. Meshheryakov S. Yu., Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii преподавателей i specialistov i Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov i molody`x ucheny`x. Voronezh, 2025. pp. 203-209.

5. Volkov I. N., Burkovskij V. L. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. 2023. T. 19. № 5. pp. 16-22.

6. Bessonova V. Yu., Bashkarev A. Ya. Cifrovye infokommunikacionny`e tehnologii: sbornik nauchny`x trudov II Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashhennaya 40-letiyu fakul'teta Informacionny`e tehnologii upravleniya i 50-letiyu kafedry` Avtomatika i telemexanika na zheleznodorozhnom transporte. Rostov-na-Donu, 2022. pp. 237-240.

7. Volkov I. N., Volkov N. M. Vy`sokie tehnologii v stroitel`nom komplekse. 2024. № 1. pp. 52-55.

8. Suvorov D. N., Nguen S., Zy`ong D. Sovremennyye naukoemkie tehnologii. 2023. № 8. pp. 64-70.

9. Nikitaev M. M., Malazoni G. Sh., Nikonova O. N., Vasil'ev Yu. E'. XIV Vserossiyskoe soveshhanie po problemam upravleniya: sbornik nauchny'x trudov. Moskva, 2024. pp. 1933-1937.

10. Bratchun V. I., Konev O. B., Zhevanov V. V. Vestnik Donbasskoj nacional'noj akademii stroitel'stva i arxitektury'. 2024. № 1 (165). pp. 3-9.

11. Asel'derov B. Sh. Aktual'ny'e problemy' stroitel'stva, prirodoobustrojstva, kadastra i zemlepol'zovaniya: sbornik nauchny'x trudov Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Maxachkala, 2022. pp. 109-112.

12. Mochalov I. V. Asfal'toanalizator II: svidetel'stvo o registracii programmy' dlya E`VM RU [Asphalt analyzer AI: certificate of registration of the computer program RU] 2025611656, 22.01.2025. Zayavka № 2024693335 ot 25.12.2024.

13. Prokop'ev A. P. Matematicheskie metody' v texnologiyax i texnike. 2024. № 1. pp. 115-122.

14. Shty'kova I., Kuz'mina N., Shinkevich T. Vestnik Kazaxskoj akademii transporta i kommunikacij im. M. Ty'ny'shaeva. 2024. № 5 (134). pp. 360-370.

15. Prokop'ev A. P., Bol'shakov A. A. Sovremenny'e naukoemkie texnologii. 2024. № 9. pp. 36-43.

16. Bratchun V. I., Bepalov V. L., Pshenichny'x O. A., Demeshkin V. P., Leonov N. S. Sovremennoe promy'shlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2022. T. 18. № 3. pp. 95-108.

**Дата поступления: 24.12.2025**

**Дата публикации: 24.01.2026**