УДК 005.63

ОРГАНИЗАЦИЯ УЧАСТКА ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В АВТОСБОРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

© 2026 А.В. Барданов, В.Н. Козловский, А.С. Подгорний, Н.С. Тондель

Самарский государственный технический университет, г. Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 23.06.2026

В работе представлены результаты исследования по вопросу обеспечения эволюционного перехода отечественного автопроизводителя от традиционной схемы организации участков технического контроля к схеме, учитывающей реализацию процессов цифровой трансформации производства.
Ключевые слова: автомобильное производство; цифровая трансформация; управление качеством; технический контроль.

DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-26-30
EDN: EUMNHA

Трансформация участка технического контроля качества (ОТК) в автосборочном производстве представляет собой не просто замену измерительного инструмента, а системную перестройку киберфизического контура управления [1, 2]. Ниже приведена матрица состояний «Текущее состояние» и «Перспективное состояние» по трем ключевым векторам: оборудование, компетенции персонала и информационные системы.

Организационно-техническая архитектура участка ОТК должна адаптироваться под физические и производственные характеристики выпускаемой продукции [3]. Ниже приведено количественно-качественное сравнение для трех ключевых сегментов автопроизводителей.

Производство грузовых автомобилей. Характеристики производства: Малосерийное/среднесерийное производство, высокая вариативность комплектации, крупные габариты узлов, экстремальные нагрузки в эксплуатации.

Инженерная специфика контроля.

Критические параметры: Моменты затяжки резьбовых соединений рамы и ходовой части (безопасность), качество сварных швов несущих конструкций, герметичность пневмосистем.

Оборудование: Тяжелые портальные измерительные системы, ультразвуковые дефектоскопы для сварных швов рам, системы контроля углов установки колес для тяжелых машин.

Такт производства: Длительный (минуты/часы на операцию), что позволяет использовать более сложные и емкие по времени процедуры контроля на каждом этапе.

Особенность: Необходимость цифровой подписи ОТК (электронный паспорт изделия) для каждого шасси, обеспечивающая прослеживаемость на протяжении всего жизненного цикла (до 10–15 лет).

Производство легковых автомобилей. Характеристики производства: Крупносерийное производство, жесткий такт конвейера (до 40–60 секунд на автомобиль), высокие требования к эстетике и комфорту.

Инженерная специфика контроля:

Критические параметры: Зазоры и сопряжения кузовных панелей, качество лакокрасочного покрытия (ЛКП), функциональность бортовых электронных систем (мультимедиа, климат-контроль).

Оборудование: Высокоскоростные камеры машинного зрения (для ЛКП и геометрии), inline-лазерные сканеры зазоров, автоматизированные стенды диагностики электроники (EOL-тестирование).

Такт производства: Очень короткий. Контроль должен быть бесконтактным и мгновенным (inline), чтобы не останавливать конвейер.

Особенность: Высокая доля автоматизации контроля (до 80–90% визуальных дефектов), человеческий фактор минимизируется.

Производство коммерческой техники.

Барданов Алексей Викторович, аспирант. E-mail: toe_fp@samgtu.ru,
Козловский Владимир Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой. E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru
Подгорний Александр Сеергеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой. E-mail: zxcvbnm89207@yandex.ru
Тондель Николай Сергеевич, аспирант. E-mail: n.tondel@mail.ru

Таблица 1. Матрица цифровой трансформации участка ОТК

Вектор трансформации	**Текущее состояние**	**Перспективное состояние**
Техническое оснащение	Ручной мерительный инструмент (штангенциркули, щупы). • Стационарные координатно-измерительные машины (КИМ) в изолированных лабораториях. • Выборочный контроль на основе бумажных чек-листов. • Отсутствие inline-мониторинга в реальном времени.	• Inline-системы машинного зрения (Computer Vision) на конвейере. • Портативные 3D-сканеры с беспроводной передачей данных в MES. • «Умные» ключи и датчики момента с фиксацией каждого соединения. • Роботизированные ячейки дефектоскопии (ультразвук, вихревые токи).
Компетенции персонала	Инспектор-контролер: функция «поиска брака» постфактум. • Низкий уровень цифровой грамотности. • Принятие решений на основе интуиции и опыта. • Разрыв между производственным персоналом и службой качества.	Оператор-аналитик данных: функция «упреждения отклонений». • Владение навыками работы с дашбордами и предиктивной аналитикой. • Принятие решений на основе алгоритмических рекомендаций ИИ. • Кросс-функциональное взаимодействие в рамках цифровых рабочих групп.
Информационные системы	Изолированные базы данных (Excel, 1С, локальные журналы). • Ручной ввод данных, высокий риск ошибок. • Отсутствие связи между системами PLM, MES и QMS. • Реактивная аналитика (отчеты по итогам месяца).	Общая база данных качества (Quality Data Lake). • Автоматический сбор данных через протоколы OPC UA / MQTT. • Интеграция цифрового двойника изделия с реальными параметрами сборки. • Предиктивные модели ИИ для прогнозирования дефектов до их возникновения.

Характеристики производства: Среднесерийное производство, модульная архитектура, работа под заказ.

Инженерная специфика контроля.

Критические параметры: Соответствие конфигурации заказу (комплектность), надежность грузового отсека, корректность работы спецоборудования (рефрижераторы, подъемники).

Оборудование: Системы считывания RFID-меток для верификации комплектации, AR-очки (дополненная реальность) для контролеров при проверке сложных конфигураций, мобильные терминалы сбора данных.

Такт производства: Средний, варьируется в зависимости от модификации.

Особенность: Динамическое изменение контрольных планов. Система должна автоматически подгружать чек-лист контроля именно для той модификации фургона, которая находится на конвейере в данный момент.

Методический и математический аппарат перехода к цифровой модели организации участков технического контроля.

Для реализации перехода предлагается универсальная модель, базирующаяся на концепции «Качество 4.0» и теории нечетких множеств для оценки зрелости процессов.

Методический аппарат: Модель зрелости (Maturity Model)

Вводится интегральный показатель цифровой зрелости участка ОТК (Z ОТК), определяемый как произведение трех коэффициентов:

K_{tech} — коэффициент технологической оснащенности (доля автоматизированных измерений).

K_{data} — коэффициент интеграции данных (связность систем MES-QMS-ERP).

K_{comp} — коэффициент компетенций персонала (уровень цифровой грамотности).

$$Z_{OTK} = \sqrt[3]{K_{tech} \cdot K_{data} \cdot K_{comp}} \ . \quad (1)$$

Переход считается успешным, если ZOTK ⩾ 0.75 (уровень «Управляемый и оптимизированный»).

Математический аппарат: Функция эффективности управления качеством. Целевая функция эффективности (Eeff) минимизирует совокупные затраты на качество (COQ) при максимизации вероятности обнаружения дефектов (Pd).

Математическая модель оптимального управления участком с ИИ:

$$\min F(x) = C_{prev} + C_{appr} + C_{fail} \ , \quad (2)$$

где: C_{prev} — затраты на предотвращение (обучение, обслуживание ИИ-моделей).

C_{appr} — затраты на оценку (амортизация оборудования ОТК).

C_{fail} — затраты на внутренние и внешние потери (брак, рекламации).

Вероятность обнаружения дефекта системой с ИИ (PAI) рассчитывается с учетом метрик алгоритма:

$$P_{AI} = \frac{TP}{TP+FN} \ , \quad (3)$$

где TP (True Positive) — верно выявленный дефект, FN (False Negative) — пропущенный дефект.

Цель внедрения: максимизировать PAI при минимизации FP

FP (False Positive — ложная тревога), так как ложные остановки конвейера несут прямые убытки.

Примеры расчетов.

Рассмотрим гипотетический кейс внедрения системы машинного зрения на участке контроля сварки кузова (применительно к производителю легковых и коммерческих автомобилей) и контроля моментов затяжки (для производителя грузовых автомобилей).

Сценарий: Участок из 10 сварных точек на кузове.
Исходные данные (Традиционный ОТК):
Выборочный контроль (1 автомобиль из 10).
Вероятность обнаружения дефекта человеком (*P human*) = 0,85.
Стоимость брака, дошедшего до клиента = 50 000 руб.
Количество выпускаемых автомобилей = 1000 шт./месяц.
Частота дефекта = 2% (20 автомобилей с дефектом).

Расчет потерь «Текущее состояние»:
Из 20 дефектных авто проверяется только 2 (10%).
Из 2 проверяемых человек находит
2×0,85=1,7 дефекта (округлим до 1).
Проходит мимо контроля:
20−1=19 автомобилей.

Убытки от внешних дефектов:
19×50000=950000 руб./мес.
Затраты на ручной контроль (ФОТ контролеров): 300 000 руб./мес.
Итого: 1 250 000 руб./мес.
Внедрение («Перспективное состояние» с ИИ):
100% контроль каждой точки (Inline).

Вероятность обнаружения ИИ (PAI) = 0,99.
Стоимость внедрения и поддержки системы = 150 000 руб./мес.
Экономия фонда оплаты труда = 150 000 руб.

Расчет потерь «Перспективное состояние»:
Выявляется: 20×0,99=19,8 дефектов.
Проходит мимо: 0,2 автомобиля (статистическая погрешность).
Убытки от внешних дефектов: 0.2×50000=10000 руб./мес.
Затраты на систему: 150 000 руб./мес.
Итого: 160 000 руб./мес.

Итоговая эффективность:
Экономия:
1250000−160000=1090000 руб./мес.
ROI (окупаемость): При капитальных затратах на оборудование 5 млн руб., окупаемость составит ≈4.6 месяца.
Качественный эффект:
Снижение рекламаций на 99%, повышение индекса лояльности клиентов.

Проведенный анализ позволяет сформулировать следующие выводы:
Необратимость цифровой трансформации. Переход от ручного контроля к системам на базе ИИ является условием выживания в конкурентной среде. Математические модели подтверждают, что даже при высоких капитальных затратах, операционная эффективность и снижение рисков брака обеспечивают быструю окупаемость [4, 5].
Дифференциация подходов. Универсальных решений не существует. Для производителей грузовых автомобилей критична надежность и прослеживаемость (цифровой паспорт), для производителей легковых автомобилей — скорость и эстетика (машинное зрение), для производителей коммерческой техники — гибкость конфигурации (динамические чек-листы).
Перспективы для науки. Требуется разработка отечественных алгоритмов компьютерного зрения, обученных на специфических данных российских условий эксплуатации (климат, качество дорог, особенности материалов). Создание открытых датасетов дефектов для тренировки нейросетей.
Практический вектор. Требуется импортозамещение программного обеспечения уровня MES/QMS. Разработка «легких» решений для малого и среднего бизнеса в автопроме, которые не требуют инфраструктурных затрат уровня глобальных концернов.
Нормативный вектор. Адаптация стандартов ГОСТ Р ИСО 9001 и отраслевых стандартов под реалии алгоритмического принятия решений (валидация ИИ как средства измерения).
Реализация данных направлений позволит российской автомобильной промышленности создать суверенную, высокоэффективную систему управления качеством, способную конкурировать с мировыми лидерами не только по цене, но и по технологической надежности продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Козловский, В.Н.* Интеллектуализация управления качеством: Проблемы и перспективы / В.Н. Козловский, Г.Л. Юнак, Д.В. Айдаров, С.И. Клейменов // Стандарты и качество. – 2018. – № 2. – С. 80-85.
2. *Козловский, В.Н.* Цифровизация производства: Новый формат статистических инструментов управления качеством / В.Н. Козловский, Г.Л. Юнак, С.И. Клейменов, Д.И. Благовещенский // Стандарты и качество. – 2020. – № 7. – С. 102-107.
3. *Благовещенский, Д.И.* Развитие цифровых инструментов управления качеством в машиностроительном производстве / Д.И. Благовещенский, В.Н. Козловский, С.А. Шанин, С.И. Клейменов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 6. – С. 167-174.
4. *Козловский, В.Н.* Цифровое производство: Качество должно быть прогнозируемым / В.Н. Козловский, Д.В. Айдаров, С.И. Клейменов, А.В. Крицкий // Стандарты и качество. – 2020. – № 3. – С. 73-77.
5. *Панюков, Д.И.* Функциональное и процессное моделирование процедуры управления рискам / Д.И. Панюков, М.В. Ненашев, Д.А. Деморецкий, В.Н. Козловский // СТИН. – 2024. – № 10. – С. 57-62.

ORGANIZING A TECHNICAL QUALITY CONTROL SECTION IN AUTOMOTIVE ASSEMBLY PRODUCTION IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION

© 2026 A.V. Bardanov, V.N. Kozlovsky, A.S. Podgorny, N.S. Tondel

Samara State Technical University, Samara, Russia

This paper presents the results of a study on the evolutionary transition of a domestic automaker from the traditional organization of technical inspection sections to a system that takes into account the implementation of digital transformation processes in production.
Keywords: automotive production; digital transformation; quality management; technical inspection.
DOI: 10.37313/1990-5378-2026-28-4-26-30
EDN: EUMNHA

REFERENCES

1. *Kozlovskij, V.N.* Intellektualizaciya upravleniya kachestvom: Problemy i perspektivy / V.N. Kozlovskij, G.L. Yunak, D.V. Ajdarov, S.I. Klejmenov // Standarty i kachestvo. – 2018. – № 2. – S. 80-85.
2. *Kozlovskij, V.N.* Cifrovizaciya proizvodstva: Novyj format statisticheskih instrumentov upravleniya kachestvom / V.N. Kozlovskij, G.L. Yunak, S.I. Klejmenov, D.I. Blagoveshchenskij // Standarty i kachestvo. – 2020. – № 7. – S. 102-107.
3. *Blagoveshchenskij, D.I.* Razvitie cifrovyh instrumentov upravleniya kachestvom v mashinostroitel'nom proizvodstve / D.I. Blagoveshchenskij, V.N. Kozlovskij, S.A. Shanin, S.I. Klejmenov // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. – 2022. – № 6. – S. 167-174.
4. *Kozlovskij, V.N.* Cifrovoe proizvodstvo: Kachestvo dolzhno byt' prognoziruemym / V.N. Kozlovskij, D.V. Ajdarov, S.I. Klejmenov, A.V. Krickij // Standarty i kachestvo. – 2020. – № 3. – S. 73-77.
5. *Panyukov, D.I.* Funkcional'noe i processnoe modelirovanie procedury upravleniya riskam / D.I. Panyukov, M.V. Nenashev, D.A. Demoreckij, V.N. Kozlovskij // STIN. – 2024. – № 10. – S. 57-62.

Alexey Bardanov, Postgraduate Student. E-mail: toe_fp@samgtu.ru,
Vladimir Kozlovsky, D.Sc. (Eng.), Professor, Head of Department. E-mail: Kozlovskiy-76@mail.ru
Alexander Podgorny, D.Sc. (Eng.) Professor, Head of Department. E-mail: zxcvbnm89207@yandex.ru
Nikolai Tondel, Postgraduate Student. E-mail: n.tondel@mail.ru