

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В
АВТОМОБИЛЕСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Kodirov Doniyor,

Ахмедов Барот,

D.Sc.

Список сокращений

Общие и управленческие

- **AI** — Artificial Intelligence (искусственный интеллект)
- **QMS** — Quality Management System (система менеджмента качества)
- **OEM** — Original Equipment Manufacturer (оригинальный производитель оборудования)
- **IT/OT** — Information Technology / Operational Technology (информационные технологии / операционные технологии)

Автомобильная промышленность и стандарты

- **IATF 16949** — International Automotive Task Force 16949 (международный стандарт менеджмента качества в автомобильной промышленности)
- **PPAP** — Production Part Approval Process (процесс одобрения производства деталей)
- **FMEA** — Failure Modes and Effects Analysis (анализ видов и последствий отказов)
- **VIN** — Vehicle Identification Number (идентификационный номер автомобиля)
- **CAN** — Controller Area Network (сеть контроллеров автомобиля)
- **ECU** — Electronic Control Unit (электронный блок управления)
- **ADAS** — Advanced Driver Assistance Systems (системы помощи водителю)
- **IQC** — Incoming Quality Control (входной контроль качества)
- **EOL** — End of Line (конечные испытания на линии)
- **MES** — Manufacturing Execution System (система управления производством)
- **PLC** — Programmable Logic Controller (программируемый логический контроллер)

Методы контроля и статистика

- **SPC** — Statistical Process Control (статистическое управление процессами)
- **Cp/Cpk** — Process Capability / Process Capability Index (индексы способности процесса)
- **OEE** — Overall Equipment Effectiveness (общая эффективность оборудования)
- **KQI** — Key Quality Indicator (ключевой показатель качества)
- **8D** — Eight Disciplines Problem Solving (методика «8 дисциплин» для решения проблем)

- **CAPA** — Corrective and Preventive Actions (корректирующие и предупреждающие действия)

- **DTC** — Diagnostic Trouble Code (диагностический код неисправности)

- **NVH** — Noise, Vibration, Harshness (шум, вибрации и жёсткость, характеристика авто)

Технические показатели и оборудование

- **CNN** — Convolutional Neural Network (сверточная нейронная сеть)

- **ML** — Machine Learning (машинное обучение)

- **CV** — Computer Vision (компьютерное зрение)

- **mAP** — mean Average Precision (средняя точность, метрика качества моделей)

- **GU** — Gloss Unit (единица блеска в измерениях окраски)

- **HVAC** — Heating, Ventilation, and Air Conditioning (отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха)

- **ABS** — Anti-lock Braking System (антиблокировочная система)

- **ESP** — Electronic Stability Program (электронная система стабилизации)

- **CNC** — Computer Numerical Control (станки с ЧПУ — числовым программным управлением)

Аннотация. В этой статье разрабатывается план интеграции искусственного интеллекта (ИИ) в систему менеджмента качества (СМК) предприятия по производству автомобилей и их компонентов. Описывается исследование и практический пакет развертывания, в непрерывный жизненный цикл качества, от геометрии кузова и сварки до покраски, окончательной сборки и проверки на производстве, который объединяет компьютерное зрение, машинное обучение (ML) и прогнозную аналитику с существующей инфраструктурой измерений и управления на предприятии.

Метод основан на обширном каталоге автомобильных контрольных точек — геометрии кузова, симметрии зазора между панелями, целостности сварных швов, параметрах окраски, контроля крутящего момента, измерении толщины лакокрасочного покрытия, регулировке крутящего момента, центровке шасси, электронике и проверке по окончании эксплуатации (EOL), - сопоставленных с измеряемыми допусками и эксплуатационными целями. Предлагается структура данных, ориентированная на VIN, рекомендации по выбору модели, логика принятия решений и инструменты управления для отслеживания и корректирующих действий, объясняются показатели оценки (точность / отзыв, карта, Cp /Cpk, частота ложных срабатываний) и ожидаемые выгоды (сокращение количества устраняемых дефектов, более низкий уровень аварийности, более быстрый анализ первопричин, более высокая общая эффективность оборудования OEE). Вкладом является многоуровневая схема — стек процессов, данных и моделей — плюс набор показателей, который сопоставляет режимы дефектов с измеряемыми ключевыми показателями качества (KQIs).

Ключевые слова: *Качество автомобилей; Искусственный интеллект; Компьютерное зрение; Прогностическая аналитика; SPC; IATF 16949; отслеживаемость VIN; Конечное тестирование.*

1. Введение

Автомобилестроение сталкивается с растущей необходимостью поставлять автомобили без дефектов на фоне сокращения производственных циклов и сложных многоуровневых цепочек поставок и генерирует поток разнородных данных — изображений, крутящих моментов, температур, токов, диагностических кодов — на сотнях станций и десятках вариантов моделей.

Традиционные методы управления качеством остаются важными, но часто являются реактивными и основанными на выборке, что затрудняет предотвращение “утечки” дефектов при сжатых сроках цикла. Искусственный интеллект может превратить СМК в прогностическую, самооптимизирующуюся систему, которая постоянно отслеживает технологические окна, вмешивается до того, как будут произведены детали, не соответствующие спецификации, и направляет корректирующие действия на основе фактических данных.

Ранее изученные материалы подчеркивают, что инспекция с поддержкой искусственного интеллекта улучшает согласованность, снижает риски, связанные с гарантией, и переводит работу по проектированию качества с ручных проверок на более ценный анализ, подчеркивает практическое влияние искусственного интеллекта на автоматизированный визуальный контроль, профилактическое обслуживание и анализ первопричин на основе данных, при этом сообщается о поэтапных изменениях точности и пропускной способности в задачах контроля, а также о значительном сокращении потерь при масштабном внедрении компьютерного зрения.

Цель. Представление унифицированного плана системы управления качеством с поддержкой искусственного интеллекта, адаптированного к автомобильному заводу, реализованный с помощью четкого списка контрольных точек и допусков для кузова, краски, сборки, трансмиссии, шасси, электроники и тестирования EOL.

2. Материалы и методы

2.1. Каталог контрольных точек и измеряемые характеристики

Основой любой системы менеджмента качества является **каталог контрольных точек**, который преобразует желаемое качество в измеримые спецификации.

1. Кузовной цех

- Геометрия кузова (соответствие контрольным точкам, зазоры, симметрия)
- Прочность и качество сварных швов (в т.ч. ультразвуковой и визуальный контроль)
- Толщина металла (в местах соединения и усиления)

- Расположение монтажных отверстий
- Контроль коррозионной устойчивости (обработка антикоррозионными материалами)
- Сварочные деформации (предотвращение коробления)

2. Окраска

- Толщина лакокрасочного покрытия (микроны)
- Адгезия покрытия
- Цвет и блеск (визуально и инструментально)
- Однородность покрытия
- Отсутствие дефектов (включения, «апельсиновая корка», подтёки, пыль)
- Сушка и отверждение (температурный режим, время)
- Контроль герметичности кузова после герметизации

3. Сборочный цех

- Правильность установки компонентов (панелей, обшивок, сидений, стекол)
- Крутящий момент при затяжке крепежей (гайки, болты, шпильки)
- Установочные зазоры (между элементами салона и кузова)
- Качество подключения электропроводки и шлейфов
- Работоспособность механизмов (стеклоподъемники, замки, капот, двери, багажник)
- Вибро- и шумоизоляция (наличие и качество укладки материалов)
- Центровка рулевой колонки и педального узла
- Установка подушек безопасности (и соответствующая маркировка)

4. Силовой агрегат и трансмиссия

- Крутящий момент затяжки болтов двигателя и трансмиссии
- Уровень жидкостей (масло, охлаждающая жидкость, тормозная, ГУР)
- Герметичность соединений (вакуум, охлаждение, топливная система)
- Правильность подключения всех систем (выхлоп, турбонаддув, охлаждение)
- Установка ремней, цепей, шкивов – контроль натяжения
- Калибровка датчиков двигателя

5. Шасси и подвеска

- Правильность установки элементов подвески
- Контроль углов установки колес (развал, сходжение)
- Давление в шинах
- Балансировка колес
- Тормозная система: прокачка, герметичность, сопротивление нажатию
- Присутствие и корректность работы ABS/ESP датчиков
- Крутящий момент затяжки ступичных гаек

6. Электрика и электроника

- Работоспособность всех систем: освещение, электроприводы, мультимедиа
- Калибровка камер и сенсоров (ADAS, парктроники, радары)
- Проверка CAN-шины и диагностика ошибок
- Конфигурация ECU (электронных блоков управления)
- Соответствие прошивок (ПО) спецификации автомобиля
- Работа сигнализации и иммобилайзера
- Контроль зарядки аккумулятора

7. Финальные проверки и контроль качества

- Динамическая проверка на тестовом треке (если предусмотрено)
- Проверка герметичности (тест дождя/душа)
- Диагностика с помощью сканеров
- Визуальный контроль на царапины, повреждения, неплотности
- Проверка зазоров по контрольной карте
- Проверка работы кондиционера, отопителя, вентиляции
- Вибрации, шумы и паразитные звуки
- Уровень топлива и жидкости перед отгрузкой

8. Документирование и прослеживаемость

- Запись всех параметров сборки в базу данных (для каждой VIN)
- Контроль выполнения контрольных точек по чек-листу
- Протоколы отклонений и устранение несоответствий
- Подписи ответственных за участки контроля

Для автомобильной промышленности объединяются целевые показатели и допуски в зависимости от этапа производства, например:

• **Кузовной цех (геометрия и сварка):** качество сварного шва (визуальное и ультразвуковое), толщина в местах усиления, расположение отверстий, защита от коррозии и контроль деформации. **Геометрия корпуса и сварка.** Зазор / промывка и симметрия (типичные целевые значения $\sim 3,5$ мм с допусками $\pm 0,5$ мм), **перекос по диагонали** $\leq \pm 2,0$ мм, **плоскостность панели** $\leq 1,0$ мм (целевой показатель $< 0,5$ мм), **соосность шарниров** $\leq 0,2$ мм, **качество сварного шва проверяется визуально и ультразвуком с заданной частотой проходов** $\geq 98\%$.

• **Покраска.** Блеск (GU), однородность, систематика дефектов (включения, апельсиновая корка, потеки), отверждения. Толщина пленки **90-130 мкм** (целевое значение **110 мкм**), блеск **85-95 GU** (целевое значение **90 GU**), адгезия **Gt0–Gt1** (целевое значение **Gt0**), температурный диапазон выпекания обычно ± 5 °C около нормы (например, **150 °C**).

• **Сборка/интерьер.** контроль крутящего момента, центровка и зазоры, целостность жгута проводов, функциональность механизма (окон / замков / капота), качество облицовки NVH, проверка установки подушек безопасности. Зазоры внутри

салона (например, в обшивке панелей) около **1,0 мм** с допуском $\pm 0,5$ мм; усилие на кнопку **3-6 Н** (целевое **4,5 Н**); крутящий момент на внутренней застежке часто **8 Н · м** с контролем $\pm 10\%$.

- **Силовой агрегат и трансмиссия.** целостность уплотнений, калибровка датчика. Контроль крутящего момента затяжки головки блока цилиндров $\pm 5\%$ около **110 Н · м**; уровень жидкости в пределах $\pm 0,1$ л (например, **4,2 л**); утечка в системе охлаждения **<20 мл/ч** (целевой показатель **0 мл/ч**); натяжение ремня **350 Н ± 10 Н**.

- **Шасси.** центровка колес, баланс, прокачка тормозной гидравлики, состояние датчиков ABS / ESP, крутящий момент ступицы. Схождение $\pm 0^{\circ}10'$ (целевое значение **0°**), развал $\pm 0^{\circ}30'$ (целевое значение **-0°20'**), давление в шинах **2,3 бар $\pm 0,1$** , баланс ≤ 15 g.

- **Электроника.** освещение, конфигурация ECU, сопротивление CAN (≈ 60 Ом), режим заряда аккумулятора, калибровка ADAS, ток утечки (режим ожидания). Напряжение шины **12,0–14,8 В** (целевое значение **13,8 В**), утечка в режиме ожидания ≤ 50 мА (целевое значение **< 20 мА**), сопротивление линии CAN **58-62 Ом** (целевое значение **60 Ом**), ток заряда **40-80 А** (целевое значение **60 А**).

- **Проверка EOL.** проверка на попадание воды, , производительность системы кондиционирования воздуха, шум в салоне на большой скорости, косметические проверки, уровень топлива при транспортировке. Шум в салоне ≤ 72 дБ при скорости **100 км/ ч** (целевой показатель **< 68 дБ**), попадание воды после душа ≤ 100 мл (целевой показатель **0 мл**), разрешены диагностические коды неисправностей **0-2** (целевой показатель **0**), расход топлива ~ 5 л ± 1 л.

Эти цифровые параметры превращают качество в **функциональное пространство** для датчиков и инспекционного оборудования: камер, инструментов для измерения крутящего момента, измерителей блеска, тестеров адгезии, ультразвуковых зондов, динамометров EOL и диагностических устройств. Они также информируют Статистический контроль процессов (SPC) об индексах возможностей и планах отбора проб, переводящие рабочие проверки в машиночитаемые этикетки и заданные значения для обучения модели и правил.

2.2. Конвейер данных и архитектура предприятия

Предлагается многоуровневый план для интеграции искусственного интеллекта с существующими операциями:

1. **Закупка.** Датчики обзора на кузове, краске и сборке; датчики крутящего момента на станциях крепления; тестеры EOL и сетевые отводы для ECU / CAN; датчики окружающей среды и духовки в краске; вибрация / температура для вращающихся элементов.

2. **Интеграция и отслеживаемость.** Каждое измерение имеет временную метку и привязано к истории устройств на **уровне VIN**, так что дефекты и параметры процесса совпадают. В бухгалтерской книге EOL регистрируются контрольные списки, отклонения и подписи.

3. Обучение.

- **Компьютерное зрение (CNNs)** для кузовных работ/ покраски / косметики и сварных швов.
- **Контролируемый ML** для контроля крутящего момента и прогнозирования технологического цикла.
- **Неконтролируемое обнаружение аномалий** для режимов утечки CAN и редких отказов.
- **Профилактическое техническое обслуживание** с использованием вибрационных / тепловых / акустических характеристик роботов, конвейеров, ЧПУ.

4. **Принятие решений.** Стробирование на уровне станции **OK / NOK**; остановка линии для критических классов; аварийные сигналы SPC при отклонении (например, кривая запекания краски, окна энергопотребления при сварке); оценка рисков поставщика для входного контроля качества (IQC).

5. **Отзывы.** Автоматизированные настройки MES / PLC (настройка параметров) и рабочих процессов QMS (8D, CAPA) с информационными панелями, отражающими каталог контрольных точек (зазоры, крутящий момент, толщина лакокрасочной пленки, сопротивление банки, ток утечки).

2.3. Показатели оценки и дизайн исследования

Для оценки воздействия и публикации воспроизводимых результатов мы указываем:

- **Показатели обнаружения** для моделей vision: точность / отзыв и отображение таксономии дефектов; **частота ложных срабатываний** (дефекты доходят до заказчика). В полевых отчетах отмечается очень большое снижение аварийности там, где шлюзы CV спроектированы и хорошо управляются.
- **Технологические возможности** (Cp /Cpk) для гистограмм зазора / промывки, крутящего момента и толщины лакокрасочного покрытия; несоответствие пропорций с течением времени.
- **Работоспособность системы** (среднее время между ложными остановками, прогнозируемая частота срабатываний в сравнении с реализованными сбоями).
- **Бизнес-результаты:** перепад претензий по гарантии, затраты на утилизацию / переделку, изменение OEE.

3. Результаты: Реализация для автомобильного завода

3.1. Автоматизированный визуальный контроль кузова и EOL

Ряд камер высокого разрешения на критически важных станциях фиксирует геометрию кузова, сварные швы, окрашенные поверхности и конечный косметический результат. Модели, обученные на основе маркированных данных, выявляют отклонения зазора между панелями (например, $> \pm 0,5$ мм), дефекты краски (потеки, включения, «апельсиновая корка») и аномалии сварных швов. В прикладных условиях такие шлюзы — в сочетании с надежным управлением и обратной связью

— позволяют более чем на 90% сократить количество отказов, существенно повысив удовлетворенность клиентов.

Ввод в эксплуатацию. Служба технического зрения публикует вердикт: ОК / NOK и наложение карты для облегчения доработки. Графики SPC для mAP и модели мониторинга точности по классам изменяются; когда производительность падает, с повторной маркировкой " в цикле" обновляет набор данных и запускает контролируемую переподготовку.

3.2. Профилактическое обслуживание линейных активов

Модели ML учитывают спектры вибрации, температуру подшипников и текущие характеристики роботов и ЧПУ, чтобы прогнозировать отказы до того, как детали выйдут из строя. Например, прогнозирование износа сервопривода манипулятора робота или шпинделя с ЧПУ до изготовления деталей с геометрическими отклонениями предотвращает утилизацию и сокращает незапланированные простои, повышая производительность оборудования.

Ввод в действие. Панель мониторинга технического обслуживания ранжирует риски по активам с оценками времени выполнения заказа; запланированные вмешательства синхронизируются со временем такта и переналадки для минимизации воздействия.

3.3. Взаимосвязь первопричин и IQS поставщика

Таблица данных объединяет кривые работы печи покрасочной камеры, данные о крутящем моменте, влажности и идентификаторы партии материала. Когда возникают всплески дефектов, механизмы корреляции могут точно определить пересечение партии и суженного интервала как наиболее вероятную движущую силу — информацию, которую трудно получить вручную. Модули IQS оценивают поставщиков по последним показателям производительности и динамически настраивают частоту дискретизации.

3.4. Панели мониторинга соответствия контрольных точек

На приборных панелях, ориентированных на VIN, в режиме реального времени отображаются распределения по ключевым моментам: гистограммы зазора / промывки, соблюдение крутящего момента с окошками $\pm 5-10\%$ толщина пленки краски около 110 μm , CAN около 60 Ом, ток утечки ниже 50 мА, углы поворота колес и разброс давления в шинах, а также проверки EOL (шум в салоне, попадание воды, количество DTC, расход топлива). Исключения открывают дела 8D с указанием владельца и сроков выполнения.

4. Обсуждение

4.1. Почему важна детализация контрольной точки

Перечисление допусков для конкретной стадии производственного цикла привязывает выходные данные ИИ к **практическим инженерным решениям**. Отметка NOK о “блеске краски $<85 \text{ GU}$ ” или “зазоре $> \pm 0,5 \text{ мм}$ ” - это не просто метка, а прямой указатель на доработку или настройку процесса. Такое **сопоставление**

результатов измерений с действиями гарантирует, что уровень искусственного интеллекта дополняет, а не заменяет строгость существующих режимов контроля качества автомобилей (SPC, PPAP, FMEA).

4.2. Человеческий фактор, смена навыков и управление

Успешные развертывания сталкиваются с пробелами в качестве / количестве данных, устаревшими ограничениями подключения и нехваткой навыков — инженеры, владеющие как “производством”, так и “ML”. Предоставленные материалы четко указывают на эти препятствия (объем данных / качество этикеток, устаревшая интеграция, навыки, умение объяснять) и рекомендуют понятные интерфейсы для укрепления доверия.

Управление внедряет цикл искусственного интеллекта в СМК: каждая NOK выявляет цифровое несоответствие с планом корректирующих действий; изменения в модели следуют за рабочим процессом контроля изменений; а отслеживаемость на уровне VIN обеспечивает возможность аудита. Заводская документация содержит контрольные списки, отклонения и подписи ответственных лиц — основа подтверждающего контроля.

4.4. Сравнительный анализ с отраслевой практикой

Некоторые OEM-производители и поставщики внедряют CV при покраске кузова, профилактическое обслуживание сменных активов и механизмы корреляции первопричин и рисков поставщиков — экосистему, соответствующую предлагаемому плану. Широко подчеркиваются ожидаемые преимущества — точность, производительность, сокращение сроков гарантии и защита бренда.

5. Управленческие и инженерные последствия

Для лидеров в области качества. Необходимо сначала инвестировать в базу данных: основной список контрольных точек, согласованную таксономию маркировки и возможность отслеживания на основе VIN. Без этого результаты модели не могут стимулировать дисциплинированные действия.

Для машиностроения и ИТ/ОТ. Необходимо построить модульный конвейер: начиная с одного элемента визуального контроля высокого воздействия (например, дефектов краски) и одной модели прогнозного технического обслуживания, затем масштабировать до анализа крутящего момента и корреляции EOL. Далее обеспечение подключения MES / PLC для замыкания цикла и поддержания бюджета времени цикла.

Для закупок и поставщиков. Оценка рисков поставщиков, чтобы сфокусировать IQS на материалах с высокой вариативностью; включение критериев приемлемости, основанных на модели, в поправки PPAP.

6. Ограничения и будущая работа

В будущих исследованиях следует сообщать о **перспективных** измерениях за несколько модельных лет — показателях выхода из строя, улучшениях Ср /Срк.

Другим рубежом является **цифровой двойник**, где параметры процесса оптимизируются при моделировании до внесения физических изменений, и **стандартизированные онтологии дефектов**, улучшающие передачу модели между заводами.

7. Заключение

Предлагаемая практическая архитектура СМК с поддержкой искусственного интеллекта в автомобильном производстве начинается с четкого каталога контрольных точек и числовых допусков, строит структуру данных, ориентированную на VIN, накладывает слои контролируемых и неконтролируемых моделей для контроля и прогнозирования и завершает цикл рабочих процессов MES / PLC и QMS.

Должным образом спроектированная и управляемая, такая система обеспечивает проведение последовательных проверок, более раннее вмешательство и более быстрое устранение первопричин — результаты, связанные на практике со значительным сокращением числа случаев эвакуации и ощутимыми выгодами в области ОЕЕ.