

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО
ИНТЕЛЛЕКТА В АВТОМОБИЛЕСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ
ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЕЙСТВЕННОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ
КАЧЕСТВОМ**

SCIENTIFIC FOUNDATIONS OF THE USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE
IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY TO ENSURE THE EFFECTIVENESS OF
THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM

Авторы:

Kodirov Doniyor Baxtiyorovich,

соискатель учёной степени доктора философии (PhD),

Узбекский институт стандартов

Ташкент, Республика Узбекистан

Ahmedov Barot Maxmudovich, D.Sc.

Научный руководитель

Палата государственных кадастров Агентства по кадастру при

Министерстве экономики и финансов Республики Узбекистан

Ташкент, Республика Узбекистан

The authors:

Kodirov Doniyor Baxtiyorovich,

candidate for the degree of Doctor of Philosophy (PhD),

Uzbek Institute of Standards

Tashkent, Republic of Uzbekistan

Ahmedov Barot Maxmudovich, D.Sc.

Scientific supervisor Chamber of State Cadasters of the Cadaster Agency under the
Ministry of Economy and Finance of the Republic of Uzbekistan
Tashkent, Republic of Uzbekistan

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, Ср /Срк, частота ложных срабатываний) и ожидаемые выгоды (сокращение количества устраняемых дефектов, более низкий уровень аварийности, более быстрый анализ первопричин, более высокая общая эффективность оборудования ОЕЕ). Вкладом является многоуровневая схема — стек процессов, данных и моделей — плюс набор показателей, который сопоставляет режимы дефектов с измеряемыми ключевыми показателями качества (KQIs).

Annotation

This article develops a plan for integrating artificial intelligence (AI) into the quality management system (QMS) of an automobile manufacturing company and its components. It describes a research and practical deployment package, in a continuous quality lifecycle, from body geometry and welding to painting, final assembly and on-site inspection, that integrates computer vision, machine learning (ML) and predictive analytics with the existing measurement and management infrastructure in the enterprise. The method is based on an extensive catalog of automotive control points — body geometry, panel gap symmetry, weld integrity, paint parameters, torque control, coating thickness measurement, torque adjustment, chassis alignment, electronics, and end-of-service (EOL) verification - compared with the measured tolerances and operational objectives. A VIN-

oriented data structure, model selection recommendations, decision logic and management tools for tracking and corrective actions are proposed, evaluation indicators (accuracy/recall, map, Cp/Cpk, false alarm rate) and expected benefits (reduction in the number of defects eliminated, lower accident rate, faster analysis) are explained. root causes, higher overall efficiency of OEE equipment). The contribution is a reusable schema — a stack of processes, data, and models — plus a set of metrics that correlates defect modes with measurable key quality indicators (KQIs).

Ключевые слова: *качество автомобилей; искусственный интеллект; компьютерное зрение; прогностическая аналитика; отслеживаемость VIN.*

Keywords: *car quality; artificial intelligence; computer vision; predictive analytics; VIN traceability.*

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 антикоррозийными 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 ~ **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 · мс 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 $- 0^{\circ}20'$), 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 ОК / 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** (C_p / C_{pk}) 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: OK / 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 IQC 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 IQC 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 $110 \mu\text{m}$, 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 НОК 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 IQC 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 C_p / C_{pk} . 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.

1. **Artificial Intelligence for Quality Defects in the Automotive Industry: A Systemic Review**, Источник: *Sensors* (MDPI) • Вид: статья (обзор) • Авторы: O.M. Morales Matamoros, J.G.T. Nava, J.J.M. Escobar, B.A.C. Chávez • Страницы: 1–39 (39 стр.) • Февраль 2025 • Номер: DOI 10.3390/s25051288; том 25, №5, статья 1288. [MDPI](#)

2. **Predictive Maintenance in the Automotive Sector: A Literature Review**, Источник: *Mathematical and Computational Applications* (MDPI) • Вид: статья (обзор) • Авторы: F. Arena, M. Collotta, L. Luca, M. Ruggieri, F.G. Termine • Страницы: 1–21 (21 стр.) • Декабрь 2021 (опубл. 31.12.2021) • Номер: DOI 10.3390/mca27010002; том 27, №1, статья 2.

3. **An Automatic Surface Defect Inspection System for Automobiles Using Machine Vision Methods** Источник: *Sensors* (MDPI) • Вид: статья (прикладная) • Авторы: Q. Zhou, R. Chen, B. Huang, C. Liu, J. Yu, X. Yu • Страницы: 1–18 (18 стр.) • Февраль 2019 • Номер: DOI 10.3390/s19030644; том 19, №3, статья 644.

4. **Artificial Intelligence-Based Smart Quality Inspection for Manufacturing Systems**, источник: *Micromachines* (MDPI) • Вид: статья (обзор/метод) • Авторы: S. Sundaram, R. Zeid, др. • Страницы: по изданию: 14(3):570 (PDF ~19 стр.; нумерация журнальная — статья №570) • Март 2023 • Номер: DOI 10.3390/mi14030570.

5. **Development and Implementation of Autonomous Quality Management System (AQMS) in an Automotive Manufacturing using Quality 4.0 Concept – A Case Study**, источник: *Computers & Industrial Engineering*

19

(Elsevier) • Вид: статья (кейс-стади) • Авторы: J. Singh, I.P.S. Ahuja, H. Singh, A. Singh • Страницы: статья №108121 (Elsevier article number; PDF обычно ~10–15 стр.) • Июнь 2022 • Номер: DOI 10.1016/j.cie.2022.108121; том 168, артикул 108121.

6. **Quality and Safety Assurance for Autonomous Vehicles in the United States and Japan**, источник: *Journal of the Japanese Society for Quality Control* • Вид: статья (обзор/аналитика) • Автор: K. Iwata • Страницы: 1–10 (10 стр.) • Сентябрь 2023 • Номер: том 53, №3.

7. **From total quality management to Quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda**, источник: *Frontiers of Engineering Management* (Springer) • Вид: статья (обзор) • Авторы: H.-C. Liu, R. Liu, X. Gu, M. Yang • Страницы: 191–205 (15 стр.) • Март 2023 (в выпуске — Июнь 2023) • Номер: DOI 10.1007/s42524-022-0243-z; том 10.