

DOI: 10.58168/ATER2025_67-77
УДК 629.113

Ларионов М.А.

заместитель руководителя отдела технологий качества автозавода ООО «Хавейл Мотор Мануфактуринг Рус», РФ

Онищенко Д.О.

доктор техн. наук, профессор кафедры поршневые двигатели Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, РФ

Прядкин В.И.

доктор техн. наук, профессор кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Школьных А.В.

ассистент кафедры автомобилей и сервиса Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова, РФ

Быстров И.Р.

студент 4 курса автомобильного факультета Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г. Ф. Морозова, РФ

Larionov M.A.

Deputy Head of the Quality Technologies Department of the automobile plant LLC «Haval Motor Manufacturing Rus», Russian Federation

Onishchenko D.O.

Doctor of technical sciences, professor of the Department of Piston Engines Bauman Moscow State Technical University, Russian Federation.

Pryadkin V.I.

Doctor of technical sciences, professor, department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Shkolnykh A.V.

assistant at the Department of cars and service, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

Bystrov I.R.

4th year student of the Automobile Faculty of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Russian Federation

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ ЗАВОДАХ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

QUALITY CONTROL IN AUTOMOBILE FACTORIES: PROBLEMS AND SOLUTIONS

Аннотация. В настоящем исследовании проводится комплексный анализ современных систем контроля качества в автомобильной промышленности, выявляются ключевые проблемные зоны и предлагаются научно обоснованные пути их решения. На основе системного подхода рассматривается трансформация парадигмы контроля качества от реактивного выявления дефектов к их проактивному предотвращению с использованием технологий Индустрии 4.0. Теоретические положения проиллюстрированы практическим кейсом внедрения передовых методик на производственной площадке ООО «Хавейл Мотор Мануфактуринг Рус». Особое внимание уделяется синергетическому эффекту от интеграции роботизированных комплексов, систем машинного зрения и сквозной цифровизации производственного цикла. Результаты работы могут быть применены для совершенствования систем менеджмента качества на предприятиях машиностроительного комплекса.

Abstract. This study provides a comprehensive analysis of modern quality control systems in the automotive industry, identifies key problem areas, and proposes scientifically based solutions.

Using a systems approach, it examines the transformation of the quality control paradigm from reactive defect detection to proactive prevention using Industry 4.0 technologies. The theoretical principles are illustrated with a practical case study of implementing advanced techniques at the production site of Haval Motor Manufacturing Rus LLC. Particular attention is paid to the synergistic effect of integrating robotic systems, machine vision systems, and end-to-end digitalization of the production cycle. The results of this study can be applied to improving quality management systems at mechanical engineering enterprises.

Ключевые слова: контроль качества, автомобилестроение, Индустрия 4.0, цифровой двойник, машинное зрение, роботизированные комплексы, предиктивная аналитика, система менеджмента качества, производственные процессы, дефектоскопия, интеллектуальное производство, сквозная прослеживаемость.

Keywords: quality control, automotive industry, Industry 4.0, digital twin, machine vision, robotic systems, predictive analytics, quality management system (QMS), production processes, flaw detection, intelligent manufacturing, end-to-end traceability.

Введение

Автомобилестроение, являясь одним из ключевых сегментов мировой промышленности, характеризуется исключительной сложностью производимой продукции и высочайшими требованиями к ее надежности и безопасности. В этой связи система контроля качества трансформируется из вспомогательной производственной функции в стратегический актив, непосредственно влияющий на конкурентоспособность и устойчивость компании [1]. Современный этап развития отрасли сопровождается рядом системных вызовов, которые не могут быть решены в рамках традиционных подходов к качеству, что актуализирует необходимость разработки новых, научно обоснованных моделей и методик.

Цель исследований – выполнить ретроспективный анализ технологий контроля качества сборки автомобилей на современных заводах.

Материалы и методы

Проведен анализ литературных источников путем применения историко-аналитического метода. Объекты исследований – литературные источники по современным методам контроля качества автомобилей на ведущих зарубежных и отечественных заводах.

Результаты и обсуждения

Основными вызовами в области контроля качества в автомобилестроении являются: эскалация сложности продукта и процессов; риски глобализированных цепочек поставок; ограничения традиционных систем контроля.

Современный автомобиль представляет собой мехатронную систему, интеграция в которой механических, электронных и программных компонентов создает новые, трудно прогнозируемые риски качества. Тренд на кастомизацию приводит к росту вариативности сборки, многократно усложняя задачу стандартизации контрольных операций [2].

Децентрализация производства и зависимость от множества внешних поставщиков создают значительные риски в обеспечении однородного входного качества компонентов. Как отмечают российские эксперты, несвоевременное выявление дефекта в поставке может привести к каскадным сбоям и масштабным рекламационным кампаниям [3].

Несмотря на автоматизацию, сохраняется зависимость от человеческого фактора на участках окончательного контроля. Субъективность визуальной оценки, утомляемость оператора и высокая скорость конвейера являются источниками ошибок второго рода, когда дефект не идентифицируется [4].

Одним из перспективных направлений совершенствования систем контроля качества на обозначенные вызовы является: концепция интегрированной системы контроля качества основанной на технологиях Индустрии 4.0.

Внедрение систем машинного зрения и искусственного интеллекта. Данные технологии позволяют перейти от выборочного визуального контроля к 100% автоматизированному анализу критически важных параметров. Алгоритмы глубокого обучения способны не только детектировать отклонения, но и классифицировать их, выявляя корреляции с параметрами технологического процесса [5].

Развертывание инфраструктуры Интернета вещей и предиктивной аналитики. Оснащение производственного оборудования сенсорами и средствами сбора данных в реальном времени формирует основу для перехода от планово-предупредительного обслуживания к предиктивному. Анализ данных о вибрации, температуре и износе инструмента позволяет прогнозировать отказы и предотвращать выпуск ненадлежащей продукции [1].

Применение методологии цифрового двойника (DigitalTwin). Создание виртуальной цифровой копии физического продукта и производственной линии открывает возможности для проактивного управления качеством. Цифровой двойник позволяет проводить симуляцию производственных процессов, оптимизировать их и моделировать последствия изменений, минимизируя риски на этапе реального производства [2].

В России накоплен не малый опыт по контролю качества на сборочном производстве автомобильного завода ООО «Хавейл Мотор Мануфактуринг Рус». Проверка качества осуществляется на каждой производственной линии, которые оснащены так называемыми воротами в будущее, или контрольными точками, где проверяется полнота и качество выполнения данного этапа производства. Уже готовый автомобиль проходит полный цикл испытаний, где проверяются все его системы, качество сборки, герметичность кузова, работа подвесок и управляемость

Внедренные роботизированные комплексы позволяют обеспечить стабильности геометрии кузова (рис. 1).



Рисунок – 1 Роботизированная установка для замера сварочных деталей кузова на заводе Naval

На участке сварки кузова функционирует более 100 роботизированных комплексов (рис 2), обеспечивающих повторяемость операций с точностью до 0,5 мм. Это позволяет гарантировать соблюдение проектных параметров, что является фундаментом для последующих этапов сборки и корректной работы всех систем автомобиля.

Автоматизированный оптический контроль. На критически важных участках, таких как контроль сварных швов, качества лакокрасочного покрытия и правильности установки стекол, используются системы машинного зрения (рис. 3). Данные системы осуществляют 3D-сканирование и сравнение полученной модели с цифровым эталоном, что исключает субъективность и повышает надежность дефектоскопии.



Рисунок 2 – Роботизированные комплексы сварки кузова

Сквозная идентификация и прослеживаемость движения каждой детали обеспечивает высокий уровень контроля за поставляемыми комплектующими на сборочное производство. Внедрение системы RFID-меток на каждой единице продукции и основных узлах создает основу для сквозной прослеживаемости (рис. 4). В случае выявления несоответствия в партии компонентов система обеспечивает оперативную идентификацию всех транспортных средств, что позволяет минимизировать издержки и реализовать точечные корректирующие действия.



Рисунок 3 – Система машинного зрения



Рисунок 4 – QR-код на поршне автомобиля Haval Dargo

Двигатели собирают так же на заводе, моторный цех расположен на территории предприятия. Все собранные на заводе двигатели обязательно проходят «горячий тест»: к мотор-стенду подключается топливопровод, проводка и патрубки охлаждения и производится первый запуск, имитирующий работу в реальных условиях эксплуатации. Операторы снимают силовые показатели двигателей и сравнивают результаты испытания с эталонными. После этого мотор отправляется на склад готовой продукции, а затем поступает в цех сборки для установки на автомобиль.

После завершения сборки проводится финальная проверка готового автомобиля. Это включает в себя проверку всех систем, ходовых качеств, а также внешнего вида автомобиля. В световом туннеле осуществляется тщательный контроль внешнего вида автомобиля. Стоящие поодаль экземпляры визуально осматривают качество окрашенных поверхностей автомобилей и при необходимости мелом выделяют бракованными местами на кузове (рис. 5).

В ходе «дождевого теста» имитируются экстремальные погодные условия для проверки герметичности кузова. Автомобиль в течение четырех минут движется на конвейере сквозь дождевую камеру, где на него из множества форсунок под давлением подается большой объем воды (рис. 6). После сушки контролеры осматривают все внутренние полости кузова на герметичность. После каждой операции проводится операционный контроль качества. Это позволяет выявлять и устранять дефекты на ранних стадиях производства.



Рисунок 5 – Прохождение автомобиля через световой тоннель

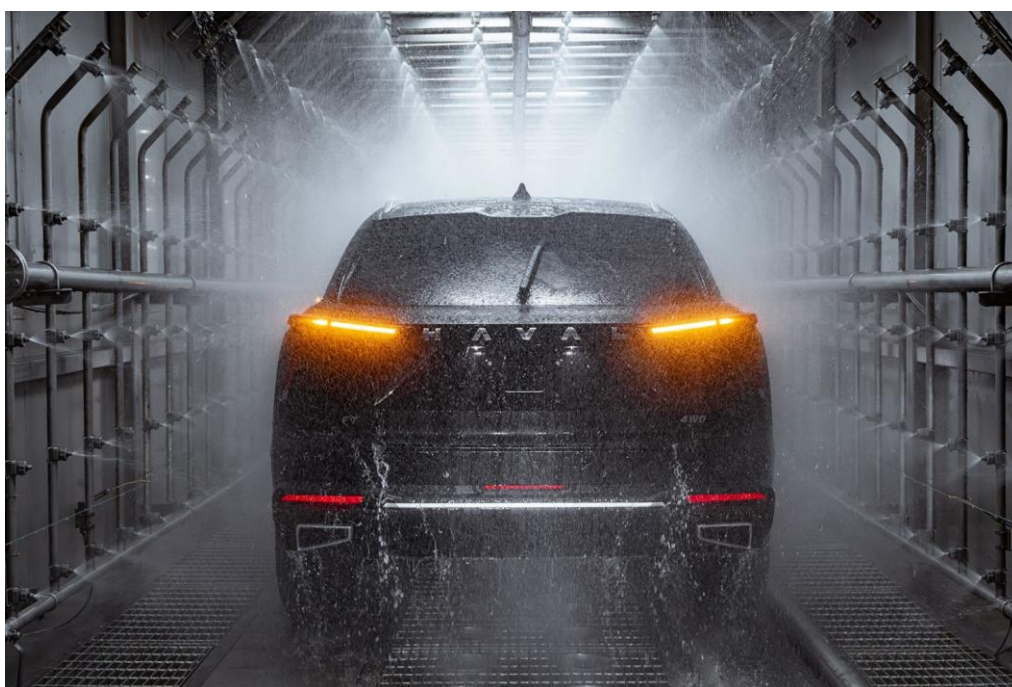


Рисунок 6 – Прохождение автомобилем «дождевого теста»

Если после прохождения "дождевого теста" выявлено запотевание фары, то есть имеет место не герметичность корпуса. Контролеры снимают фару, производят её визуальный осмотр, далее проверяют на герметичность (рис.7-8). По результатам теста оформляется претензия поставщику и производится отзыв всей партии запчастей.



Рисунок 7 – Визуальный осмотр фары



Рисунок 8 – Проверка герметичности фары в ванне

После прохождения автомобилем заключительного теста, была выявлена неисправность рулевого механизма, которая заключается в повышенном шуме от червячной пары электроусилителя. Данный усилитель демонтируется с автомобиля и подвергается разборке, с целью выявления дефекта (рис 9). Отделом контроля качества составляется претензия к поставщику электроусилителей, как следствие отзыв всей партии.

В процессе сборки осуществляется контроль качества сборки всех узлов, что включает проверку правильности установки всех элементов, а также отсутствие дефектов и повреждений.

На заключительном этапе каждый автомобиль проходит проверку на управляемость, ходовые свойства и эффективность тормозов на собственном полигоне. На испытательном полигоне, где можно тестировать автомобили как

на ровном асфальте, скользкой и мокрой дороге, так и на искусственных неровностях и гравии, спусках и подъемах (рис. 10).

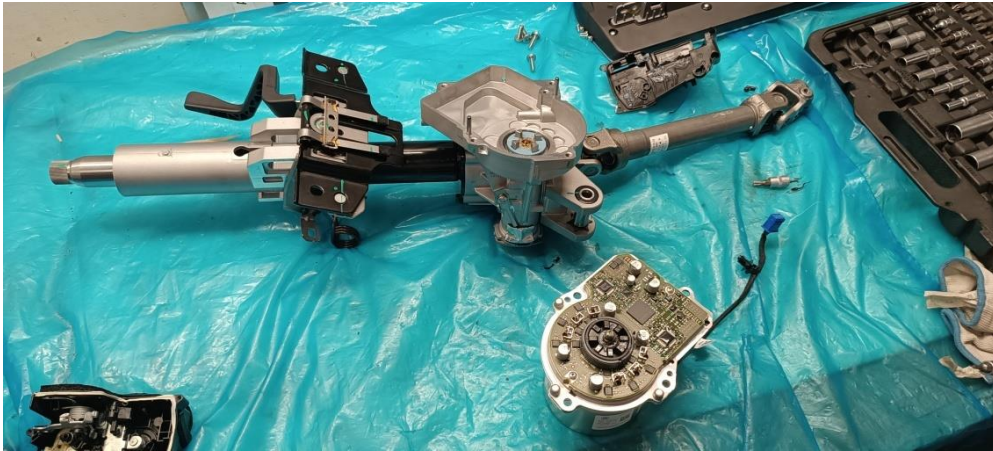


Рисунок 9 – Разборка электроусилителя и поиск неисправности

Также проводятся испытания динамики и экстренного торможения, тесты двигателя, трансмиссии и подвески, апробация электронных систем. Делается все, чтобы максимально адаптировать кроссоверы Haval к российской эксплуатации. В процессе сборки осуществляется контроль качества сборки всех узлов, что включает проверку правильности установки всех элементов, а также отсутствие дефектов и повреждений.

На заключительном этапе каждый автомобиль проходит проверку на управляемость, ходовые свойства и эффективность тормозов на собственном полигоне (рис. 10).



Рисунок 10 – Испытания ходовой части автомобиля при движении по единичным неровностям

На испытательном полигоне, где можно тестировать автомобили как на ровном асфальте, скользкой и мокрой дороге, так и на искусственных неровностях и гравии, спусках и подъемах. Также проводятся испытания динамики и экстренного торможения, тесты двигателя, трансмиссии и подвески, апробация электронных систем. Делается все, чтобы максимально адаптировать кроссоверы Naval к российской эксплуатации.

Автомобили прошедшие все стадии контроля отправляются на площадку отгрузки в торговый дом, а далее их поставляют официальным дилерам для реализации конечному потребителю.

Выводы

Современная парадигма контроля качества в автомобилестроении претерпевает фундаментальные изменения. На смену изолированным проверкам на конечном этапе приходит интегрированная, система, встроенная в каждый элемент производственного цикла. Практическая реализация предложенных решений, как демонстрирует завод Naval, позволяет достичь синергетического эффекта: повысить стабильность качества, снизить операционные издержки и минимизировать репутационные риски. Дальнейшее совершенствование контроля качества сборки автомобилей целесообразно направить на разработку адаптивных алгоритмов с искусственным интеллектом для прогнозирования дефектов и интеграции цифровых двойников в системы менеджмента качества в реальном времени.

Список литературы

1. Адлер, Ю.П., Полковникова, Н.В. (2021). Статистическое управление технологическими процессами в условиях Industry 4.0. М.: ИНФРА-М. – 215 с.)
2. Deming, W.E. (2019). Out of the Crisis. – MIT Press. – 450 p.
3. Иванов, В.А., Смирнов, Е.В. (2022). Цифровые двойники в промышленном производстве. СПб.: Питер. – 188 с.
4. Juran, J.M., & De Feo, J.A. (2020). Juran's Quality Planning and Analysis for Enterprise Quality. – McGraw-Hill Education. – 585 p.
5. Shewhart, W.A. (2021). Economic Control of Quality of Manufactured Product. – Martino Fine Books. – 998 p.
6. Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2021). Taguchi's Quality Engineering Handbook. – John Wiley & Sons. – 1176 p.

References

1. Adler, Yu. P., Polkovnikova, N. V. (2021). Statistical Process Control in Industry 4.0. Moscow: INFRA-M. – 215 p.
2. Deming, W. E. (2019). Out of the Crisis. MIT Press. – 450 p.

3. Ivanov, V. A., Smirnov, E. V. (2022). Digital Twins in Industrial Production. St. Petersburg: Piter. – 188 p.
4. Juran, J. M., & De Feo, J. A. (2020). Juran's Quality Planning and Analysis for Enterprise Quality. McGraw-Hill Education. – 585 p.
5. Shewhart, W. A. (2021). Economic Control of Quality of Manufactured Product. Martino Fine Books. – 998 p.
6. Taguchi, G., Chowdhury, S., & Wu, Y. (2021). Taguchi's Quality Engineering Handbook. – John Wiley & Sons. – 1176 p.