

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ АГРЕГАТОВ И СИСТЕМ АВТОМОБИЛЕЙ

В.А. Гаркуша ¹, А.В. Криворучко ², И.А. Кравцов ³, В.А. Иванников ⁴
^{1,2,3,4} Воронежский государственный лесотехнический университет имени

Г.Ф. Морозова,

г. Воронеж, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виталий Андреевич Гаркуша,
Garkusha2162@mail.ru

Аннотация: В представленной работе осуществлен системно-аналитический обзор актуальных методик неразрушающего контроля (НК), интегрируемых в процессы технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств. Детальному рассмотрению подвергнуты технологические аспекты виброакустических, тепловизионных, ультразвуковых, эндоскопических методик, а также анализа данных бортовых сетей.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, автомобильная диагностика, предиктивная аналитика, вибромониторинг, тепловизионный анализ, интегрированные диагностические системы, техническая эксплуатация.

MODERN METHODS OF DIAGNOSTICS OF AGGREGATES AND SYSTEMS IN THE CAR

V.A. Garkusha ¹, A.V. Krivoruchko ², I.A. Kravtsov ³, V.A. Ivannikov ⁴
^{1,2,3,4} Voronezh State Forestry Engineering University named after G.F. Morozov,
Voronezh, Russia

The author responsible for the correspondence: Vitaly Andreevich Garkusha,
Garkusha2162@mail.ru

Abstract: In the presented work, a system-analytical review of current non-destructive testing (NDT) techniques integrated into the processes of maintenance and repair of motor vehicles is carried out. The technological aspects of vibroacoustic, thermal imaging, ultrasound, and endoscopic techniques, as well as data analysis of on-board networks, have been examined in detail.

Keywords: non-destructive testing, automotive diagnostics, predictive analytics, vibration monitoring, thermal imaging analysis, integrated diagnostic systems, technical operation.

Эволюция автомобиля в высокоинтегрированную мехатронную систему сопряжена с ростом требований к ее надежности и безопасности. Архаичные подходы к диагностике, основанные на дискретной разборке узлов, не только экономически неэффективны, но и зачастую неспособны детектировать зарождающиеся дефекты [1]. В этом контексте неразрушающие методы контроля (НК) трансформируются из вспомогательного инструмента в краеугольный камень современной системы технической эксплуатации.

Их стратегическая значимость определяется рядом преимуществ:

- Реализация принципа «прогнозирования и предупреждения» вместо концепции «реагирования и ремонта».
- Возможность оценки деградации материалов и конструкций на докритической стадии.
- Снижение жизненного цикла затрат (LCC) за счет оптимизации ремонтных интервалов и предотвращения катастрофических отказов.
- Формирование объективной базы данных для расчета остаточного ресурса агрегатов.

Целью данного исследования является не только классификация современных методов НК, но и выявление тенденций их конвергенции в единые информационно-измерительные комплексы, способные к автономной аналитике [2].

Многообразие методов НК целесообразно классифицировать по доминирующему физическому принципу, определяющему область их максимальной эффективности:

1. Методы, основанные на анализе механических колебаний: Вибрационная диагностика, Акустическая эмиссия (АЭ), Ультразвуковая дефектоскопия.
2. Тепловизионные технологии: Инфракрасная термография.
3. Визуализирующие системы: Техническая эндоскопия.
4. Методы диагностики по косвенным признакам: Анализ параметрических потоков данных бортовых сетей (OBD-II, CAN-шина).

2.1. Вибродиагностика – мониторинг кинематических цепей

Сущность метода заключается в корреляции между динамикой вибрационных сигналов и изменением физико-механических свойств контролируемого объекта. Регистрация осуществляется высокочувствительными акселерометрами.

Области предикативной диагностики:

Силовой агрегат: Идентификация дисбаланса роторных систем (коленвал, ТНВД), диагностика зазоров в кривошипно-шатунном механизме, детонационное сгорание.

Трансмиссия: Диагностика состояния зубчатых зацеплений КПП и главной передачи, оценка целостности подшипниковых опор.

Вспомогательные системы: Анализ работоспособности приводных навесных агрегатов (генератор, помпа).

Современный анализ оперирует не только спектральными характеристиками, но и методами кепстрального анализа и вейвлет-преобразования, что позволяет выделять слабые сигналы на фоне интенсивных шумов.

В отличие от вибродиагностики, АЭ регистрирует не вынужденные, а собственные колебания, генерируемые материалом в процессе пластической деформации или роста трещин.

Уникальные компетенции метода:

– Мониторинг несущих структур: Локализация зон усталостного повреждения кузова, рам, элементов подвески.

– Трибодиагностика: Выявление микропроскальзываний в подшипниках качения до появления вибрационных симптомов.

– Контроль герметичности: Диагностика утечек рабочих fluids (топливо, хладагент) по акустическому сигналу истечения.

Метод обладает исключительной чувствительностью, но требует сложной процедуры фильтрации полезных сигналов от помеховых.

Метод базируется на свойствах ультразвуковых волн отражаться от границ раздела сред.

Практическая реализация в сервисе:

Ультразвуковая толщинометрия: Количественная оценка коррозионного износа элементов кузова, рамы, трубопроводов.

Дефектоскопия: Выявление расслоений в композитных материалах, контроль качества сварных соединений [3].

Инфракрасная термография преобразует невидимое тепловое излучение в карту температурных полей.

Ключевые направления применения:

Диагностика электронных систем: Выявление аномальных тепловых в блоках управления, силовых цепях, контактных группах, что позволяет предотвратить электрические отказы.

Теплоэнергетический анализ ДВС: Оценка равномерности теплосъема с головки блока цилиндров, диагностика термостата, радиатора и системы рециркуляции ОГ.

Механические системы: Контроль температурного режима тормозных механизмов и подшипниковых узлов.

Метод отличается оперативностью, но его точность лимитирована необходимостью учета коэффициента эмиссии поверхности.

Видеоэндоскопия представляет собой «замочную скважину» во внутренние полости агрегатов [4].

Сферы незаменимого применения:

Интраскопия ДВС: Визуальная инспекция камер сгорания, клапанов, стенок цилиндров без проведения капитального ремонта.

Обследование топливной аппаратуры: Контроль состояния распылителей форсунок.

Кузовной ремонт: Осмотр скрытых полостей на предмет коррозии и деформаций.

Современные эндоскопы с функцией 3D-сканирования позволяют не только обнаруживать, но и количественно оценивать геометрию дефектов.

Данный метод использует легализованный канал связи с электронной нервной системой автомобиля.

Диагностический потенциал:

– Интерпретация кодов неисправностей (DTC): Быстрая идентификация отказавшего функционального модуля.

– Анализ параметров в реальном времени: Оценка эффективности работы систем по данным датчиков (давление, расход, состав смеси, углы опережения).

– Формирование трендов: Сбор исторических данных для прогнозирования отказов (например, постепенное снижение компрессии по косвенным признакам).

OBD-II является отправной точкой любой комплексной диагностики, предоставляя вектор для дальнейшего, более глубокого, физического исследования.

Синергия методов и переход к интеллектуальной диагностической платформе

Диагностическая ценность методов многократно возрастает при их интеграции в единый киберфизический комплекс [5].

Таблица 1. Сравнительный анализ методов НК в автомобильной диагностике

Table 1. Comparative analysis of NC methods in automotive diagnostics

Метод	Целевые дефекты	Ключевое преимущество	Критическое ограничение
Вибродиагностика	Дисбаланс, износ, люфты	Количественная оценка тяжести дефекта	Зависимость от точки установки датчика
Акустическая эмиссия	Развитие трещин, трение	Сверхраннее обнаружение активных дефектов	Высокие требования к квалификации оператора
Термография	Перегрев, нарушения теплообмена	Панорамный контроль, бесконтактность	Влияние внешних тепловых помех

Ультразвук	Внутренние дефекты, толщина	Высокая точность измерений	Необходимость акустического контакта
Эндоскопия	Поверхностные повреждения	Прямое доказательство дефекта	Ограничение по глубине и углу обзора
OBD-II анализ	Функциональные сбои	Скорость и интеграция в архитектуру автомобиля	Не диагностирует механический износ напрямую

Сценарный пример комплексной диагностики:

- Симптом: Повышенный расход топлива.
- OBD-II: фиксирует обедненную топливно-воздушную смесь.
- Термография: выявляет аномальный нагрев впускного коллектора, указывающий на подсос не измеряемого воздуха.
- Акустическая эмиссия: локализует точку утечки по звуку проходящего через микротрещину воздуха.
- Эндоскопия: визуально подтверждает наличие трещины.

Современные неразрушающие методы диагностики переживают этап качественной трансформации, движущей силой которой является цифровизация. Выделяются три магистральных тренда:

Конвергенция данных: Создание единого информационного пространства, где данные с датчиков НК, бортовых систем и проектной документации (digital twin) взаимно обогащают друг друга.

Развитие встроенных систем мониторинга: Проектирование агрегатов с интегрированными датчиками АЭ и вибрации для lifelong-мониторинга, что является основой для новых бизнес-моделей (например, техника как услуга - TaaS) [6].

Таким образом, неразрушающий контроль эволюционирует из инструмента поиска неисправностей в стратегическую технологию управления жизненным циклом автомобиля, обеспечивающую беспрецедентный уровень эксплуатационной готовности и экономической эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калашников, В. П. Цифровые двойники в технической диагностике транспортных средств / В. П. Калашников, А. С. Семенов. – Москва : Техносфера, 2021. – 312 с.
2. Григорьев, А. В. Прецизионная виброакустика в машинно-аппаратурном комплексе / А. В. Григорьев. – Санкт-Петербург : Профессия, 2020. – 288 с.
3. Зотов, И. С. Инфракрасная диагностика в условиях промышленного интернета вещей / И. С. Зотов // Датчики и системы. – 2022. – № 5. – С. 45–53.
4. Woller, S. Automobil-Sensorik 4.0: Grundlagen der Steuerung / S. Woller, M. Haas. – Berlin : Springer Vieweg, 2021. – 288 с.
5. Jardine, A. K. S. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance / A. K. S. Jardine, D. Lin, D. Banjevic // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2022. – Vol. 172. – Article 108989.
6. SAE J1979: Digital Annex of E/E Diagnostic Test Modes : standard / SAE International. – Rev. Jun. 2023. – URL: https://www.sae.org/standards/content/j1979_202306/ (дата обращения: 15.11.2024).

REFERENCE

1. Калашников, В. П. Цифровые двойники в технической диагностике транспортных средств / В. П. Калашников, А. С. Семенов. – Москва : Техносфера, 2021. – 312 с.

2. Григорьев, А. В. Прецизионная виброакустика в машинно-аппаратурном комплексе / А. В. Григорьев. – Санкт-Петербург : Профессия, 2020. – 288 с.
3. Зотов, И. С. Инфракрасная диагностика в условиях промышленного интернета вещей / И. С. Зотов // Датчики и системы. – 2022. – № 5. – С. 45–53.
4. Воллер, С. Автомобильная сенсорика 4.0: Система управления / С. Воллер, М. Хаас. – Берлин : Springer Vieweg, 2021. – 288 с.
5. Джардин, А. К. С. Обзор по диагностике и прогнозированию технического обслуживания машин на основе технического состояния / А. К. С. Джардин, Д. Лин, Д. Баневич // Механические системы и обработка сигналов. – 2022. – Том 172. – Артикул 108989.
6. SAE J1979: Цифровое приложение для режимов электронного диагностического тестирования: стандарт / Международный стандарт SAE и др. – Обновлено в июне 2023 года. – URL: https://www.sae.org/standards/content/j1979_202306/ (дата публикации: 15.11.2024).