

СЕКЦИЯ 2

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЕЙ

УДК 629.331+62-5

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

РЫНКЕВИЧ С. А.

*(Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой;
г. Новополоцк, Республика Беларусь)*

Электрические транспортные средства (ЭТС) – от легковых автомобилей и коммерческого транспорта до электрических автобусов и специализированной техники – становятся ключевыми элементами современной транспортной системы. Однако их массовое внедрение требует надежного обеспечения безопасности, устойчивости характеристик и долговечности энергетической установки. В этом контексте особое значение приобретает контроль функционирования: своевременное выявление неисправностей, оценка состояния компонентов, диагностика деградации и подтверждение соответствия эксплуатационным требованиям.

Цель данной статьи – выполнить анализ основных методов контроля функционирования ЭТС, рассматривая их назначение, принципы, достоинства и ограничения.

Рассмотрим задачи контроля функционирования ЭТС.

Контроль функционирования можно рассматривать как совокупность процедур, направленных на решение нижеследующих задач.

1. Диагностика отказов (например, неисправности инвертора, электродвигателя, датчиков, HV-цепей).
2. Оценка работоспособности в режиме эксплуатации (контроль напряжений, токов, температур, анализ эффективности работы).
3. Отслеживание деградации (старение аккумуляторной батареи, ухудшение параметров тягового привода).
4. Предиктивная диагностика, или трендовое прогнозирование – это прогнозирование отказов на основе трендов параметров.
5. Обеспечение безопасности, т.е. контроль изоляции, токов утечки, защитных цепей и блокировок.
6. Регистрация данных для анализа причин отказов и оптимизации обслуживания.

В ЭТС контроль реализуется на разных уровнях:

- компонентный уровень: датчики и локальные контроллеры (BMS, инверторные системы, контроллеры электродвигателей);
- уровень транспортного средства (Vehicle-level): центральные контроллеры, устройства интеграции данных от подсистем, подсистема принятия решений о снижении мощности или аварийных режимах;
- уровень эксплуатации и сервисного обслуживания: удаленный мониторинг, диагностика по телеметрии, обновление программного обеспечения, анализ тенденций развития процессов.

Такой подход обеспечивает как оперативное выявление нарушений, так и стратегическое управление надежностью и повышение ресурса [1].

Рассмотрим основные методы контроля функционирования ЭТС.

1. Контроль на основе встроенной диагностики (OBD/встроенная диагностика).

Встроенная диагностика использует данные от бортовых датчиков и реализует логические алгоритмы для выявления нарушений и опасных отклонения параметров. Как правило, применяется контроль следующих параметров: электрических параметров (напряжения, токи, частоты), температур (электродвигатель, инвертор, батарея, кабели), а также применяется диагностика корректности сигналов датчиков и мониторинг состояния защит.

Дефекты выявляются следующими приемами: обнаружение несоответствий между ожидаемыми и фактическими значениями сигналов; проверка согласованности измерений нескольких датчиков; временные критерии (например, появляется сообщение типа «ошибка сохраняется дольше порогового времени»).

Достоинства метода: высокая оперативность, относительно низкие затраты на реализацию.

Данный метод весьма эффективен при анализе тормозных систем ЭТС [2].

2. Оперативная диагностика состояния тягового привода и силовой электроники.

Тяговый привод и силовая электроника (инвертор, преобразователи, электродвигатель, силовые кабели) составляют критическую часть ЭТС. Методы контроля включают:

- непрерывный мониторинг токов и напряжений: оценка формы тока, наличие гармоник, отклонения в режимах;
- контроль перегрева посредством тепловых моделей и термодатчиков;
- контроль изоляции и токов утечки (для HV-цепей);
- тестирование функциональных режимов: например, самодиагностика при старте или в процессе переходных режимов.

Особое внимание уделяется обнаружению пробоя и обрыва цепей, деградации силовых ключей, проблем с датчиками обратной связи (определяют положение ротора, угловую скорость и угол поворота).

Достоинства метода: напрямую отражает состояние важнейших механизмов и деталей и имеет высокую оперативность.

Недостатком метода является чувствительность к погрешностям датчиков, при этом часть отказов может проявляться только под нагрузкой.

3. Контроль и диагностика аккумуляторной батареи.

Аккумуляторная батарея (АБ) определяет эксплуатационные характеристики и безопасность ЭТС. Мониторинг и контроль АБ включает в себя проверку системы управления батареей (BMS), определение ее текущей емкости (SOH) и уровня заряда (SOC). Измерение и расчет SOC (State of Charge) и SOH (State of Health) позволяют оценить состояние работоспособности АБ и выявить процессы деградации на раннем этапе. Здесь выполняют также мониторинг ячеек и модулей, контроль пределов напряжения, тока и температуры; контроль внутреннего сопротивления, которое растет при старении.

Способы оценки SOC: кулоновский счетчик (интегрирование тока); модельные методы (например, анализ RC-цепей); комбинации методов с фильтрацией. Способы оценки SOH: анализ трендов емкости; оценка изменения внутреннего сопротивления; измерение отклика на тестовые импульсы (в зависимости от архитектуры).

Достоинством данного метода является высокая практическая значимость для обеспечения ресурса и предупреждения рисков.

Ограничения метода: оценки SOH и SOC сильно зависят от корректности моделей и качества данных; доступ к некоторым параметрам требует дополнительных процедур.

4. Моделирование и цифровые диагностические модели.

Цифровые модели позволяют контролировать функционирование ЭТС на основе виртуального аналога, т.е. цифрового двойника (digital twin).

Используются следующие модели: тепловые модели для прогнозирования температурных режимов; электрические модели для оценки состояния силовой цепи; модели деградации (например, зависимость роста сопротивления от циклов и температуры).

Достоинством метода является то, что он потенциально позволяет перейти от «реактивного» к «предиктивному» контролю.

Пояснение. Реактивный контроль, в отличие от предиктивного, основывается на фактическом состоянии механизмов машины в процессе эксплуатации. Это может включать плановое техническое обслуживание, которое проводится в определенные сроки или после определенного времени эксплуатации. Предиктивный контроль, наоборот, предсказывает, когда и какое обслуживание необходимо, в зависимости от технического состояния машины. Это позволяет минимизировать непредвиденные простои и повышать эффективность работы.

Ограничения метода: модели требуют калибровки и валидации; эффект снижается при изменении условий эксплуатации.

5. Применение систем мониторинга состояния и анализ трендов.

Мониторинг состояния основан на долговременном сборе данных с последующей статистической обработкой. При этом выполняется контроль стабильности параметров, осуществляется обнаружение аномалий относительно нормы и производится анализ циклов обслуживания [3].

Техническая реализация метода предполагает применение процедур фильтрации для подавления помех и нормализации данных, разработку статистических контрольных карт для мониторинга отклонений, а также идентификацию признаков деградации на основе косвенных индикаторов.

Преимущество: раннее обнаружение проблем до отказа.

Ограничения: требует качественного хранения данных и единого подхода к интерпретации трендов.

6. Визуальная и ручная диагностика в составе эксплуатационного контроля.

Несмотря на автоматизацию, значимым остается эксплуатационный контроль. При этом проводятся следующие мероприятия: проверка состояния разъемов и кабельных линий; контроль креплений, загрязнений, состояния охлаждения; оценка следов перегрева или повреждений.

Достоинства метода: простота и полезность в выявлении очевидных проблем.

В то же время здесь ограничена глубина диагностирования, а качественная проверка зависит от квалификации персонала.

7. Технические измерения и испытания (стендовые и диагностические процедуры).

Для углубленного контроля применяются: высоковольтные испытания изоляции, тестирование под нагрузкой, замеры характеристик электродвигателя и/или инвертора, диагностические процедуры для батареи (в специализированных стендах).

Достоинство метода заключается в максимально точной проверке состояния механизмов ЭТС.

Недостатком является то, что он требует времени, специального оборудования и обычно применяется при ремонте или плановом обслуживании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рынкевич, С.А. Анализ параметров и характеристик электрических транспортных средств // С.А. Рынкевич // Новые технологии и материалы, автоматизация производства: сб. ст. междунар. науч.-технич. конф., г. Брест, 30.10–01.11. 2025 г. – Брест : Издательство БрГТУ, 2025. – С. 52–58.
2. Рынкевич, С.А. Выбор структуры системы автоматического регулирования работы тормозов электромобиля // С.А. Рынкевич, Д.В. Римко // Новые технологии и материалы, автоматизация

производства: сборник статей междунар. науч.-технич. конф., г. Брест, 30.10–01.11. 2025 г. – Брест: Издательство БрГТУ, 2025. – С. 58–61.

3. Рынкевич, С.А. Высокоавтоматизированные и автономные транспортные средства: перспективы, проблемы и вопросы ответственности / С.А. Рынкевич // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. – 2026. – № 1. – С. 13–19.