

МУЛЬТИСЕНСОРНАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТОРМОЗНЫХ МЕХАНИЗМОВ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ: ТЕМПЕРАТУРА, ВИБРАЦИИ И ОПТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ

Чудинов Д.А. (магистрант),
Научный руководитель – доцент Попов И.Ю.
Университет ИТМО
vortospec@gmail.com

Введение. Широкое распространение гражданских электромобилей приводит к изменению режимов работы фрикционных тормозных механизмов. При длительном использовании у водителя формируется привычка использовать замедление рекуперацией [4], вследствие чего дисковые тормоза в ряде сценариев используются реже. Из-за этого возникает деградация тормозных механизмов в виде коррозии, загрязнения, неравномерного контакта и закисания элементов тормозного узла, эти виды деформации могут накапливаться скрыто и проявляться при первом интенсивном торможении или после длительной стоянки во влажной среде. Дополнительным фактором риска остаётся перегрев [2], при котором снижение коэффициента трения приводит к ухудшению эффективности торможения.

На данный момент в массовых автомобилях применяют преимущественно разрозненные средства контроля в виде датчиков износа колодок, сервисный визуальный осмотр и диагностика по системам ABS/ESC, однако комплексная оценка состояния диска и механизма в целом затруднена. Зарубежный и отечественный опыт в исследовании тормозных систем показывает, что температура существенно влияет на коэффициент трения [3], а коррозионные процессы могут изменять контакт «диск-колодка», вызывая нестабильность торможения и вибрационные проявления. В связи с этим актуальна разработка подхода к диагностике состояния тормозных механизмов на основе объединения нескольких измерительных каналов, доступных для реализации в виде прототипа программно-аппаратной платформы.

Основная часть. В основе предлагаемого решения лежит мультисенсорная диагностика состояния тормозных механизмов электромобилей, основанная на объединении температурных, инерциальных и оптических признаков. Актуальность обусловлена тем, что процессы деградации имеют неоднозначные проявления и могут быть вызваны разными причинами, от долгого нахождения во влажной среде, до выраженной коррозии или неравномерного контакта тормозного диска с колодкой. Кроме этого, отдельные измерительные каналы обладают ограниченной достоверностью: температурный канал чувствителен к условиям теплообмена и режиму торможения, оптический к освещению и геометрии наблюдения, а инерциальный к внешним вибрациям и дорожному покрытию. Поэтому предлагается диагностическое решение, в котором итоговое состояние формируется по согласованию нескольких независимых признаков, что позволяет снизить вероятность ложных выводов.

Температурный канал предназначен для выявления режимов перегрева тормозного диска, способных приводить к снижению эффективности торможения при длительных и интенсивных торможениях [3]. В качестве диагностических критериев рассматриваются текущая температура, а также её динамика во времени. Инерциальный канал, состоящий из блока гироскопа и акселерометра, используется для фиксации вибрационных проявлений неравномерности торможения, которые возникают при неоднородном контакте диска с колодкой, образовании коррозионных зон или дефектов поверхности. Для этого рассчитываются отклонения от базового состояния, на этапе калибровки. Оптический канал ориентирован на оценку загрязнённости и коррозии поверхности, по пятнам образовавшимся на поверхности тормозного диска. Итоговый

диагностический статус формируется из объединённых результатов трёх каналов, при этом параметры срабатывания и границы предлагается определить экспериментально на этапе калибровки по наборам состояний с оценкой качества диагностики по доле ложных срабатываний и пропусков.

Выводы. Практическая значимость работы состоит в возможности применения предлагаемого мультисенсорного подхода и платформы программно-аппаратной платформы для диагностики перегрева, загрязнённости и коррозии тормозных механизмов гражданских электромобилей в условиях преимущественного использования рекуперативного торможения, а также для средств мониторинга состояния узлов транспортных средств.

Полученные результаты могут быть использованы при выполнении ВКР для формирования методики стендовой проверки и калибровки диагностических критериев по наборам состояний: «норма», «перегрев», «загрязнение», «коррозия», а также для обоснования требований к достоверности предупреждений и снижению ложных срабатываний при применении мультисенсорного объединения признаков.

Список использованных источников:

1. Corrosion Stiction in Automotive Braking Systems // MDPI URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/16/10/3710> (дата обращения: 26.02.2026).
2. Temperature Influence on Brake Pad Friction Coefficient Modelisation // MDPI URL: <https://www.mdpi.com/1996-1944/17/1/189> (дата обращения: 27.02.2026).
3. Towoju O. A Braking Pattern Impact on Brake Fade in an Automobile Brake System // Journal of Engineering Sciences. - 2019. - №6. - С. 11-16.
4. How Regenerative Braking Contributes to Rear Brake Corrosion // Tireview URL: <https://www.tirereview.com/rear-brake-corrosion/> (дата обращения: 27.02.2026).