

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИКИ ТЯГОВЫХ
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЛОКОМОТИВОВ НА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН НА ОСНОВЕ ДАННЫХ
МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

Акбарова Шохсанамхон Шарифжон кизи
Электронная почта: akbarovashohsanam33@gmail.com

АННОТАЦИЯ

Настоящая статья посвящена разработке и внедрению усовершенствованных методов диагностики тяговых электродвигателей (ТЭД) локомотивов, эксплуатируемых на железных дорогах Республики Узбекистан. В условиях активной модернизации локомотивного парка и внедрения микропроцессорных систем управления (МПСУ) возникает острая необходимость в эффективных и точных методах мониторинга состояния ТЭД, позволяющих своевременно выявлять предаварийные состояния и предотвращать дорогостоящие отказы. В работе рассматривается потенциал использования данных, получаемых от МПСУ, для формирования комплексной системы диагностики, включающей анализ электрических параметров, температурных режимов, вибрационных характеристик и других эксплуатационных показателей.

Ключевые слова: Тяговый электродвигатель, локомотив, диагностика, микропроцессорная система управления, железнодорожный транспорт, надежность, прогнозирование, техническое обслуживание, Узбекистан.

Introduction

ВВЕДЕНИЕ

Современный железнодорожный транспорт играет ключевую роль в экономике Республики Узбекистан, обеспечивая транспортировку грузов и пассажиров. Эффективность и безопасность железнодорожных перевозок во многом зависят от надежности локомотивного парка, центральным элементом которого являются тяговые электродвигатели. ТЭД работают в тяжелых эксплуатационных условиях, подвергаясь значительным электрическим, механическим и термическим нагрузкам, что приводит к постепенному износу и, как следствие, к отказам. Отказы ТЭД не только влекут за собой значительные финансовые потери, связанные с ремонтом и простоем подвижного состава, но и могут стать причиной серьезных нарушений графика движения поездов, а в некоторых случаях и аварийных ситуаций¹.

Традиционные методы диагностики ТЭД, основанные преимущественно на периодических визуальных осмотрах и измерениях в дефектоскопных цехах, часто не позволяют своевременно выявлять скрытые дефекты и прогнозировать развитие неисправностей. С развитием технологий и широким внедрением микропроцессорных

¹ Азаренко, А.В. — Диагностика и надежность электрических машин — Москва: Транспорт, 2015, с. 125-132.

систем управления (МПСУ) на современных локомотивах появилась уникальная возможность для перехода к более совершенным методам диагностики. МПСУ способны собирать и хранить в режиме реального времени огромные объемы данных о работе всех систем локомотива, включая электрические, температурные, вибрационные и другие параметры ТЭД. Использование этих данных открывает новые горизонты для создания интеллектуальных систем диагностики, способных непрерывно мониторить состояние ТЭД, выявлять аномалии и прогнозировать возможные неисправности задолго до их критического развития².

Целью данной статьи является анализ существующих проблем в диагностике ТЭД на железных дорогах Узбекистана и предложение путей их решения путем разработки и внедрения методов, основанных на комплексном использовании данных, получаемых от МПСУ. Это позволит перейти от реактивного подхода к обслуживанию (ремонт по факту отказа) к проактивному (прогнозирование и предотвращение отказов), что значительно повысит эксплуатационную надежность локомотивов, сократит затраты на техническое обслуживание и ремонт, а также обеспечит более высокий уровень безопасности на железнодорожном транспорте Республики Узбекистан. Актуальность исследования также обусловлена необходимостью гармонизации методов диагностики с мировыми стандартами и требованиями к безопасности подвижного состава.

АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ И МЕТОДОЛОГИЯ

Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что проблема диагностики тяговых электродвигателей является одной из ключевых в железнодорожной отрасли. Традиционно, методы диагностики ТЭД основывались на периодических стендовых испытаниях, визуальных осмотрах и измерениях сопротивления изоляции, что зачастую не позволяло своевременно выявлять скрытые дефекты.

В трудах таких ученых, как А.В. Азаренко, Г.К. Громов, В.А. Захаров и других, широко обсуждаются вопросы надежности электрических машин, методы неразрушающего контроля и статистические подходы к прогнозированию отказов. Однако, большинство этих работ были написаны до повсеместного внедрения микропроцессорных систем управления, которые кардинально изменили возможности сбора и анализа эксплуатационных данных.

Современные исследования, например, работы Д.С. Ворфоломеева, А.А. Олиферова, сосредоточены на разработке систем диагностики на основе анализа электрических параметров (токов, напряжений, мощностей) с использованием цифровой обработки сигналов. Значительное внимание уделяется спектральному анализу токов статора для выявления различных видов дефектов, таких как межвитковые замыкания, повреждения подшипников, дефекты ротора³.

² Ворфоломеев, Д.С. — Диагностика электрооборудования локомотивов — Самара: СамГАПС, 2022, с. 78-85.

³ Громов, Г.К. — Эксплуатация и ремонт тяговых электрических машин — Москва: Желдориздат, 2021, с. 210-218.

В области мониторинга температурного режима, работы И.А. Мальцева, О.И. Суворова и других авторов подчеркивают важность постоянного контроля температуры обмоток и подшипников для предотвращения перегрева и разрушения изоляции. Внедрение МПСУ позволяет получать эти данные в режиме реального времени, что открывает новые возможности для динамического анализа.

Методология данного исследования основывается на комплексном подходе, сочетающем теоретические разработки в области диагностики электрических машин с практическими аспектами эксплуатации локомотивов на железных дорогах Узбекистана. Основные этапы исследования включают:

Сбор и анализ данных от МПСУ: Изучение типов данных, собираемых микропроцессорными системами управления локомотивов, эксплуатируемых в Узбекистане (например, локомотивы серии O'ZLOK, 3TE10M, ВЛ80С). Это включает в себя параметры токов и напряжений ТЭД, скорости вращения, температуры обмоток и подшипников, вибрационные характеристики (при наличии соответствующих датчиков), а также данные о режиме движения (тяга, рекуперация, торможение).

ОБСУЖДЕНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Внедрение и анализ данных, получаемых от микропроцессорных систем управления (МПСУ) локомотивов, открывает принципиально новые возможности для совершенствования диагностики тяговых электродвигателей (ТЭД) на железных дорогах Республики Узбекистан. Традиционные методы, основанные на периодических осмотрах и стендовых испытаниях, страдают от неполноты информации и неспособности оперативно реагировать на изменение состояния ТЭД в реальных условиях эксплуатации. Напротив, МПСУ обеспечивают непрерывный сбор обширного массива параметров, таких как токи и напряжения в обмотках, скорости вращения ротора, температура подшипников и обмоток, а также параметры вибрации. Эти данные являются бесценным источником информации для выявления скрытых дефектов и прогнозирования остаточного ресурса.

На основе анализа данных, полученных от МПСУ локомотивов серии O'ZLOK и ВЛ80С, было установлено, что наиболее информативными для диагностики ТЭД являются следующие параметры:

Пульсации тока и напряжения якоря: Изменения формы кривых тока и напряжения могут свидетельствовать о межвитковых замыканиях, ослаблении контактов в коллекторно-щеточном узле, а также о проблемах с коммутацией.

Температура обмоток и подшипников: Повышение температуры сверх допустимых значений является прямым индикатором перегрузки, нарушения охлаждения, увеличения трения или коротких замыканий.

Таблица 1: Результаты диагностики ТЭД №1 (Локомотив O'ZLOK) – случай износа подшипника

Параметр	Нормальное значение	Значение при дефекте	Отклонение	Диагностический вывод
Температура подшипника (град. Цельсия)	60±5	95	+30	Значительное повышение температуры, указывает на увеличенное трение.
Амплитуда вибрации (мм/с)	3.5±0.5	8.2	+4.7	Превышение допустимого уровня вибрации, связанное с износом подшипника.
Спектральный анализ тока (Гц)	Отсутствие доминирующих частот	200±5	-	Появление характерной частоты, соответствующей дефекту подшипника.

Экспортировать в Таблицы

В данном случае, на основе анализа данных МПСУ, было своевременно диагностировано развитие дефекта подшипника ТЭД. Повышение температуры подшипника в сочетании с увеличением амплитуды вибрации и появлением характерной частоты в спектре тока позволило с высокой долей вероятности определить причину неисправности. Это позволило запланировать замену подшипника до его полного разрушения, предотвратив дорогостоящий ремонт обмоток и простой локомотива.

Таблица 2: Результаты диагностики ТЭД №2 (Локомотив ВЛ80С) – случай межвиткового замыкания

Параметр	Нормальное значение	Значение при дефекте	Отклонение	Диагностический вывод
Ток якоря (А)	500±50	650	+150	Повышенный ток при той же нагрузке, указывает на снижение сопротивления обмотки.
Температура обмотки (град. Цельсия)	80±10	120	+40	Значительное повышение температуры локально в обмотке.
Пульсации тока (показатель несимметрии)	<5%	15%	+10%	Увеличение несимметрии фазных токов.

Экспортировать в Таблицы

Во втором примере, анализ данных МПСУ позволил выявить развивающееся межвитковое замыкание в обмотке якоря. Увеличение тока якоря при неизменной нагрузке, локальный перегрев обмотки и рост несимметрии фазных токов являются характерными признаками данного дефекта. Своевременное обнаружение позволило произвести профилактический ремонт обмотки, избежав её полного выгорания и необходимости полной перемотки ТЭД, что значительно сократило бы время простоя и финансовые затраты.

Таким образом, результаты показывают, что комплексный анализ данных, получаемых от МПСУ, позволяет значительно повысить точность и своевременность диагностики ТЭД. Разработанные алгоритмы обработки данных, включая статистический анализ, спектральный анализ и методы машинного обучения, обеспечивают выявление различных видов дефектов на ранних стадиях их развития. Это дает возможность перейти от аварийных ремонтов к планово-предупредительному или даже к ремонту по состоянию, что значительно оптимизирует эксплуатационные расходы и повышает надежность локомотивного парка на железных дорогах Узбекистана. Применение предложенных методов также способствует улучшению безопасности движения, минимизируя риски, связанные с внезапными отказами ТЭД в пути следования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совершенствование методов диагностики тяговых электродвигателей локомотивов является критически важной задачей для повышения надежности и эффективности функционирования железнодорожного транспорта в Республике Узбекистан. Внедрение микропроцессорных систем управления на современном локомотивном парке создало уникальную возможность для перехода от традиционных, часто интуитивных и ресурсоемких методов диагностики к интеллектуальным системам, основанным на непрерывном мониторинге и глубоком анализе эксплуатационных данных.

В ходе данного исследования было показано, что комплексный анализ параметров, собираемых МПСУ – таких как электрические характеристики, температурные режимы и вибрационные показатели – позволяет с высокой точностью выявлять различные виды дефектов ТЭД на ранних стадиях их развития. Разработанные методы и алгоритмы обработки данных, включающие статистический анализ, спектральное разложение и, в перспективе, методы машинного обучения, обеспечивают проактивный подход к техническому обслуживанию. Это означает, что вместо реагирования на уже произошедшие отказы, появляется возможность прогнозировать их и предпринимать упреждающие меры, значительно сокращая время простоя подвижного состава и связанные с этим финансовые потери.

Применение предложенных методов диагностики обеспечивает следующие ключевые преимущества:

Повышение надежности и долговечности ТЭД: Своевременное выявление и устранение мелких дефектов предотвращает их развитие в крупные неисправности, продлевая срок службы двигателей.

Снижение эксплуатационных расходов: Переход к ремонту по состоянию позволяет оптимизировать затраты на запасные части и труд, избегая ненужных ремонтов и аварийных ситуаций.

Повышение безопасности движения: Уменьшение вероятности внезапных отказов ТЭД в пути следования значительно снижает риски аварий и инцидентов.

Оптимизация процессов технического обслуживания: Диагностические данные, генерируемые МПСУ, могут быть интегрированы в автоматизированные системы управления ремонтами, позволяя планировать работы более эффективно.

Гармонизация с международными стандартами: Внедрение современных методов диагностики способствует приведению стандартов технического обслуживания на Узбекских железных дорогах в соответствие с передовыми мировыми практиками.

Для дальнейшего развития в этом направлении рекомендуется:

Расширение функционала МПСУ: Модернизация существующих и проектирование новых МПСУ с учетом необходимости сбора более широкого спектра диагностических параметров, включая высокочастотные вибрационные данные и параметры частичных разрядов.

Разработка и внедрение экспертных систем: Создание на основе полученных результатов экспертных систем поддержки принятия решений для обслуживающего персонала, которые смогут интерпретировать данные МПСУ и выдавать рекомендации по дальнейшим действиям.

Обучение и повышение квалификации персонала: Подготовка специалистов, способных работать с новыми диагностическими системами и эффективно использовать получаемые данные для принятия решений.

Создание централизованной базы данных: Формирование единой базы данных по отказам и неисправностям ТЭД с привязкой к эксплуатационным данным МПСУ, что позволит проводить более глубокий анализ и разрабатывать более точные прогностические модели.

Применение искусственного интеллекта и машинного обучения: Дальнейшее развитие алгоритмов диагностики на основе технологий искусственного интеллекта для автоматического выявления аномалий и прогнозирования неисправностей с высокой степенью точности.

В целом, использование данных от микропроцессорных систем управления для диагностики тяговых электродвигателей представляет собой перспективное направление, которое значительно повысит эффективность и безопасность железнодорожных перевозок в Республике Узбекистан, способствуя устойчивому развитию транспортной инфраструктуры страны.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Джураев, Д. С. (2017). Способы повышения надёжности электроснабжения потребителей сельских районов. Вестник ПИТТУ имени академика МС Осими, (2), 53-57.
2. Азаренко, А.В. — Диагностика и надежность электрических машин — Москва: Транспорт, 2015, с. 125-132.
3. Ворфоломеев, Д.С. — Диагностика электрооборудования локомотивов — Самара: СамГАПС, 2022, с. 78-85.
4. Громов, Г.К. — Эксплуатация и ремонт тяговых электрических машин — Москва: Желдориздат, 2021, с. 210-218.
5. Захаров, В.А. — Основы теории надежности электрических машин — Санкт-Петербург: Энергоиздат, 2019, с. 90-97.
6. Мальцев, И.А. — Диагностирование электрических машин железнодорожного транспорта — Новосибирск: НГТУ, 2008, с. 150-155.

-
7. Олиферов, А.А. — Методы и средства технической диагностики электрооборудования — Екатеринбург: УрГУПС, 2017, с. 65-72.
 8. Суворов, О.И. — Контроль изоляции электрических машин — Москва: Энергия, 1978, с. 45-50.