

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ КОНТРОЛЯ КОММУТАЦИИ КОЛЛЕКТОРНЫХ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОВОЗОВ

**Т. В. Волчек**

*Канд.техн.наук, доцент кафедры «Эксплуатация железных дорог»,  
КрИЖТ ИрГУПС, г. Красноярск*

**В. С. Томилов**

*Канд.техн.наук, доцент кафедры «Эксплуатация железных дорог»,  
КрИЖТ ИрГУПС, г. Красноярск*

***Аннотация.** В статье рассмотрена статистика отказов тяговых электродвигателей электровозов серии «Ермак», установлены основные причины выхода из строя проблемных элементов. Рассмотрены способы контроля коммутации в процессе эксплуатации, предлагаемые учеными и специалистами, выявлены их недостатки. Одним из современных методов контроля искрения тягового электродвигателя (ТЭД) является превентивный мониторинг на базе искусственного интеллекта, который также позволит выявить остаточный ресурс ТЭД.*

***Ключевые слова:** тяговый электродвигатель, коммутация, степень искрения, машинное обучение, отказ*

Развитие Восточного полигона является приоритетной задачей для ОАО «РЖД», поскольку эта транспортная артерия играет определяющую роль в организации грузовых перевозок по России, обеспечивая связь между европейской частью страны и Дальним Востоком [1].

В 2023 году полигон обеспечил перевозку 173 млн тонн грузов. К 2030 году планируется увеличить этот показатель до 210 млн тонн, а к 2035 году – до 270 млн тонн, что означает рост более чем на 30 %. Для достижения таких результатов требуется масштабная модернизация: обновление локомотивного парка, совершенствование инфраструктуры и оптимизация технологических процессов с внедрением современных методов ремонта и управления подвижным составом.

В настоящее время по полигону эксплуатируются тяжеловесные составы массой 7100 тонн, во главе электровозов серии ЗЭС5К «Ермак». Также используются сдвоенные поезда весом 14200 тонн. К 2030 году планируется увеличение массы составов до 8000-8800 тонн.

Однако рост массы поездов создает дополнительную нагрузку на оборудование электровозов, что может привести к их преждевременному износу и необходимости unplanned ремонтов, которые неблагоприятно воздействуют на перевозочный процесс.

Статистика отказов электровозов переменного тока серии «Ермак» за 2023 год, приписки Красноярской дирекции тяги, показывает, что одним из наиболее проблемных узлов является тяговый электродвигатель, из всего силового оборудования около 50 % отказов приходится именно на него. За 2023 год произошло 270 отказов ТЭД в 1152 секциях электровозов серии «Ермак». На рисунке 1 представлены отказы элементов ТЭД за 2023 год. Наибольшее число отказов приходится на коллекторно-щеточный аппарат [2].

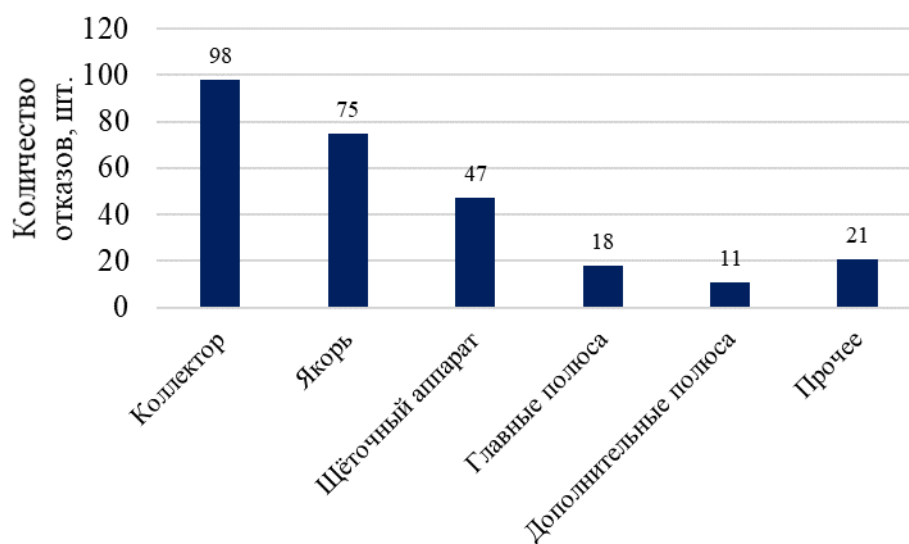


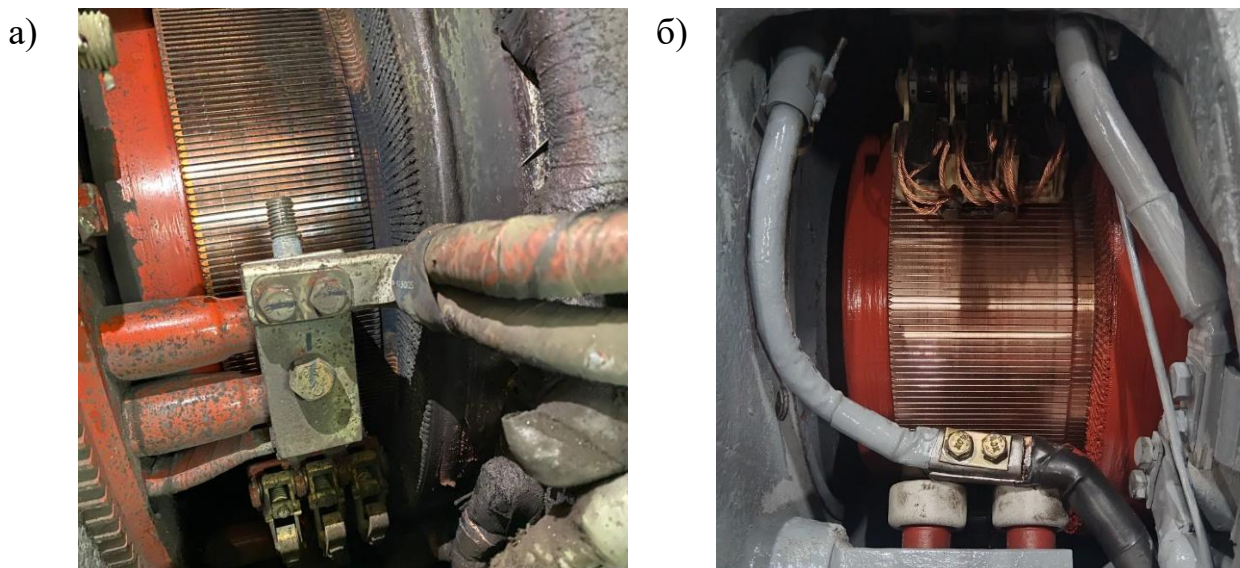
Рисунок 1 – Отказы элементов ТЭД за 2023 год

Основными причинами выхода из строя данных узлов являются: круговой огонь и пробой изоляции.

Согласно статистическим данным по отказам технических средств за период с сентября по декабрь 2024 года около 10 % отказов с дальнейшим заходом локомотива на unplanned ремонт произошло по причине выхода из строя тягового электрического двигателя, при этом отношение простоя локомотива на unplanned ремонтах по причине отказа ТЭД (относительно общего простоя на unplanned ремонтах) занимает «лидирующие» позиции и достигает 23 %. Например, на Красноярской железной дороге в феврале месяце 2025 года из-за неисправности тягового электродвигателя при эксплуатации произошла задержка 8 поездов, был заказан вспомогательный локомотив, что привело к потерям 9,83 поездо-часов.

На рисунке 2 представлены последствия возникающего искрения коллектора. Согласно ГОСТ 183-74 качество коммутации оценивается по пятибалльной системе. Как правило при степенях искрения:

- 1, 1 ¼ отсутствуют почернения на коллекторе;
- 1 ½ появляются следы почернения на коллекторе, но легко устраняются протиранием бензином;
- 2 появляются следы почернения коллектора, нагара на щетках, которые не устраняются протиранием;
- 3, частично разрушение щеток, значительное почернение коллектора, что в последствии приводит к их замене.



а) последствия искрения; б) новый коллектор после капитального ремонта

Рисунок 2 – Коллекторно-щеточный аппарат ТЭД

Как правило, искрение щеток обусловлено неудовлетворительным протеканием процесса коммутации, на который огромное влияние оказывает величина небалансной ЭДС ( $\Delta e_p$ ), зависящая от величины реактивной ( $e_p$ ), коммутирующей ( $e_k$ ) и трансформаторной ЭДС ( $e_k$ ) [2-4]. Несмотря на то, что при конструкционных испытаниях ТЭД добавочные полюса хорошо рассчитаны и отлажены, небалансная ЭДС в коммутируемых секциях все же возникает. Вызвано это тем, что индуктивность в коммутационной зоне, а следовательно, и коммутирующая ЭДС распределены по плавной кривой, а реактивная ЭДС – по ступенчатой. Этот дисбаланс тем больше, чем с большим током работает ТЭД.

В связи с этим ученые и специалисты разрабатывали различные способы контроля коммутации ТЭД во время эксплуатации, для повышения их надежности [5, 6].

Одним из таких способов является разработанное устройство, позволяющее во время эксплуатации локомотива определять степень искрения и характер коммутации ТЭД (замедленная или ускоренная) [5]. При возникновении искрения при ускоренной коммутации, блок управления обеспечивает включение отпитки дополнительных полюсов, если же обнаружена замедленная коммутация, то с помощью фазочувствительного устройства управления включается подпитка обмотки дополнительных полюсов.

Недостатками данного устройства является то, что:

- возникновении при механических причинах нарушения коммутации (биение коллектора, неправильная притирка щеток, загрязнение коллектора), при возникновении вихревых токов, при наличии пульсации тока главных полюсов причину искрения невозможно решить подпиткой дополнительных полюсов. Также в условиях переходных процессов предлагаемая система может не успеть оперативно подстроиться под меняющиеся условия;

- при возникновении искрения, информация не передается машинисту локомотива для оперативного изменения режима работы ТЭД;

- не ведется запись случаев возникновения искрения ТЭД в пути следования, что не позволяет определить фактическое состояние ТЭД.

Еще одним способом контроля коммутации являются датчики поперечного тока разрезной щетки, которые предлагается установить на щеткодержатель всех ТЭД для осуществления мониторинга искрения на каждом электродвигателе электровоза в процессе его эксплуатации в реальных условиях работы [6]. Далее информация с установленных датчиков передается на аналого-цифровой преобразователь, затем на ПЭВМ, на котором определяется балльность искрения.

Недостатками данного устройства является:

- отсутствие прямой связи с машинистом для своевременной корректировки режима работы ТЭД;

- устройство не прогнозирует техническое состояние оборудования.

В настоящее время отсутствует система оперативного контроля коммутации тяговых электродвигателей, что приводит к необходимости устранения последствий ее нарушений только на этапах соответствующего ремонта (в основном – неплановых) [6]. В связи с этим актуальной задачей является разработка методов, позволяющих осуществлять превентивный мониторинг и диагностику состояния ТЭД.

Современные достижения в области машинного обучения открывают широкие возможности для решения подобных задач. Машинное обучение активно внедряется в различные промышленные сферы, позволяя проводить качественный анализ данных, прогнозировать возможные сценарии развития событий и повышать точность диагностики.

Использование и интеграция современных методов искусственного интеллекта в системы управления электроподвижным составом (применение глубокого обучения (Deep Learning) и нейронных сетей для анализа данных в реальном времени, использование методов машинного обучения (Machine Learning) для прогнозирования неисправностей и оптимизации режимов работы тяговых электрических двигателей) может способствовать созданию системы раннего обнаружения искрения в ТЭД, что позволит минимизировать риски и сократить затраты на ремонтные работы.

### **Список использованной литературы**

1. Поморцев, В. А. Оценка сдерживающих эксплуатационных факторов при развитии тяжеловесного движения на Восточном полигоне / В. А. Поморцев, А. И. Орленко, Е. М. Лыткина // Вестник транспорта Поволжья. – 2022. – № 1(91). – С. 60-65.

2. Волчек, Т. В. Анализ работы коллекторных тяговых электродвигателей электровозов переменного тока / Т. В. Волчек, Л. С. Курманова // Трансформация транспорта и образования : Труды Всероссийской научно-практической конференции КрИЖТ ИрГУПС, посвященной 130-летию транспортного образованию в Сибири, Красноярск, 17–19 октября 2024 года. – Красноярск: Иркутский государственный университет путей сообщения, 2024. – С. 394-397.

3. Возникновение трансформаторной ЭДС в секциях якоря тягового электродвигателя электровоза переменного тока в режимах полного и ослабленного поля и пути ее снижения / Т. В. Волчек, О. В. Мельниченко, А. О. Линьков, С. Г. Шрамко // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 1(77). – С. 41-48.

4. Волчек, Т. В. Совершенствование методов контроля состояния коллекторного тягового электродвигателя при его эксплуатации / Т. В. Волчек, В. С. Томилов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4(96). – С. 202-208. – DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_4\_202.

5. Патент на полезную модель № 121108 U1 Российская Федерация, МПК H02K 13/14. Устройство управления коммутацией тягового коллекторного электродвигателя с дополнительными полюсами : № 2012109952/07 : заявл. 14.03.2012 : опубл. 10.10.2012 / О. Л. Раппопорт, А. Б. Цукублин ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный исследовательский Томский политехнический университет".

6. Патент на полезную модель № 75102 U1 Российская Федерация, МПК H01R 43/14, H01R 43/00, H02K 15/00. система мониторинга искрения щеточно-коллекторных узлов тяговых электродвигателей подвижного железнодорожного состава : № 2008108229/22 : заявл. 03.03.2008 : опубл. 20.07.2008 / О. Л. Раппопорт, А. Б. Цукублин, А. А. Осадченко, Д. Е. Шибяев ; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский политехнический университет.