

УДК 629.4.01

## Статистический анализ возникновения отказов систем тягового привода электроподвижного состава метрополитена

**А. А. Кульков, Д. Д. Никонов, Е. Л. Грязнова**

Российский университет транспорта, Россия, 127994, Москва, ул. Образцова, 9, стр. 9

**Для цитирования:** *Кульков А. А., Никонов Д. Д., Грязнова Е. Л.* Статистический анализ возникновения отказов систем тягового привода электроподвижного состава метрополитена // Бюллетень результатов научных исследований. 2026. Вып. 2. С. 149–160. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-2-149-160

### Аннотация

**Цель:** систематизация и количественная характеристика отказов в системе тягового привода за период с 2020 по 2024 год, выявление основных видов неисправностей и определение приоритетных направлений технических и организационных мероприятий, направленных на снижение частоты внеплановых видов ремонта и оптимизацию общей стоимости владения парком электроподвижного состава.

**Методы:** применены методы статистического анализа отказов, включая разделение их по типам (электрические, механические, программные), расчет процентного соотношения отказов, анализ временных рядов и количественный анализ между эксплуатационными параметрами и вероятностью отказа. Использованы данные сервисных журналов, диагностических систем и контактных проверок. Дополнительно внедрена методика оценки влияния условий эксплуатации и качества обслуживания непосредственно на параметры надежности. **Результаты:** проведенный анализ позволил определить наиболее уязвимые узлы, элементы систем тягового привода, установить распределение типов отказов (по частоте, сезонности). Выявлены основные причины, в частности износ контактных поверхностей, перегревы системы охлаждения, сбои программного обеспечения. Выявлена значимая связь между нарушением регламентов обслуживания и ростом интенсивности отказов. Благодаря мониторингу ключевых параметров была выявлена возможность нивелирования числа внеплановых отказов. **Практическая значимость:** повышение надежности системы, снижение затрат и доли внеплановых ремонтов. Предложен комплекс мер: модернизация тягового привода, усиленная диагностика, определение интервалов обслуживания по реальному состоянию узлов, автоматизация мониторинга токов и напряжений, переводение тепловизионных и контактных проверок в разряд регулярных.

**Ключевые слова:** метрополитен, электроподвижной состав, тяговый привод, статистический анализ, отказы, эксплуатация, техническое обслуживание

### Введение

Безопасность, надежность, а также эффективность работы метрополитена зависят от технического состояния силовых цепей тягового привода. Система обеспечивает движение подвижного состава, а также является его ключевым узлом. Выход привода из строя влечет серьезные последствия, среди которых — сбои в графике движения, а также рост эксплуатационных расходов и возникновение угрозы пассажирам.

Тяговый электропривод представляет собой сложную многокомпонентную систему, выполняющую функцию преобразования подведенной электрической энергии в направленное механическое движение. В современном электроподвижном

составе этот комплекс объединяет в себе высокоточное электронное оборудование и силовые агрегаты, работающие в условиях высоких динамических нагрузок [3–5, 7–10].

Современный тяговый привод имеет в своем составе следующие элементы:

1. Тяговый электродвигатель (ТЭД) — узел, который служит для приведения поезда в движение. В современной практике предпочтение отдается асинхронным машинам с короткозамкнутым ротором, которые обеспечивают высокие показатели удельной мощности и крутящего момента [3–5].

2. Частотный преобразователь (инвертор) — блок, который преобразует напряжение контактной сети в переменное для ТЭД, а также обеспечивает регулирование частоты и амплитуды тока, плавность разгона, энергоэффективное торможение и работу в режиме рекуперации [4, 5, 8].

3. Микропроцессорная система управления — модуль, который координирует работу всех узлов, непрерывно обрабатывает сигналы с датчиков скорости, тока и положения, реализует сложные алгоритмы управления и поддерживает оптимальные режимы работы при любых условиях [8, 10].

4. Система охлаждения и коммутации включает в себя радиаторы, вентиляторы и силовые контакторы, отвечает за поддержание стабильной рабочей температуры силовых преобразователей и обмоток двигателя, предотвращая износ изоляции и критический перегрев оборудования [9, 10].

5. Механическая тяговая группа состоит из тяговых редукторов и специализированных муфт, которые понижают частоту вращения, осуществляют передачу крутящего момента непосредственно на колесные пары, компенсируя неизбежные при движении смещения [3, 7].

От безотказности каждого из перечисленных звеньев напрямую зависит надежность всей системы. Возможные неисправности варьируются в широком диапазоне, и проблемы не ограничиваются только программными ошибками и кратковременными сбоями датчиков, которые требуют лишь банального перезапуска системы.

Поломка может обернуться сложными механическими повреждениями и проблемами изоляции, которые ведут, в частности, к полной потере тяги. Подобные дефекты вызывают постановку подвижного состава на внеплановый ремонт, поэтому безупречная исправность тягового привода является залогом строгого выполнения графика движения и безопасности эксплуатации транспортного комплекса.

С учетом растущих объемов пассажирских перевозок особенно актуальной становится важность поддержания высоких стандартов технического состояния подвижного состава. Особенно это касается таких крупных городов, как Москва, Санкт-Петербург, Казань и Минск, где в условиях интенсивной работы метрополитенов подвижной состав подвергается значительным эксплуатационным нагрузкам [3, 7, 10].

Профилактическое обслуживание систем тягового привода и их диагностика позволяют продлить срок службы бортового оборудования, снизить риск возникновения неисправностей и обеспечить стабильность и безопасность пассажирских перевозок.

В данной статье представлены результаты статистического анализа причин отказов в системах тягового привода на примере электропоезда модели 81.775 «Москва-2020». Анализ показал основные виды неисправностей за период с 2020 по 2024 год, и на его основе даны рекомендации по их минимизации [2].

## Основная часть

В рамках анализа эксплуатационной надежности подвижного состава Московского метрополитена за период с 2020 по 2024 год проведена систематизация и классификация отказов, зарегистрированных в процессе его функционирования на линии. Полученные статистические данные (рис. 1) отчетливо демонстрируют, что высоковольтное оборудование является одним из ключевых источников неисправностей и составляет 30% от общего числа отказов, зафиксированных при техническом обслуживании [2, 7–10].

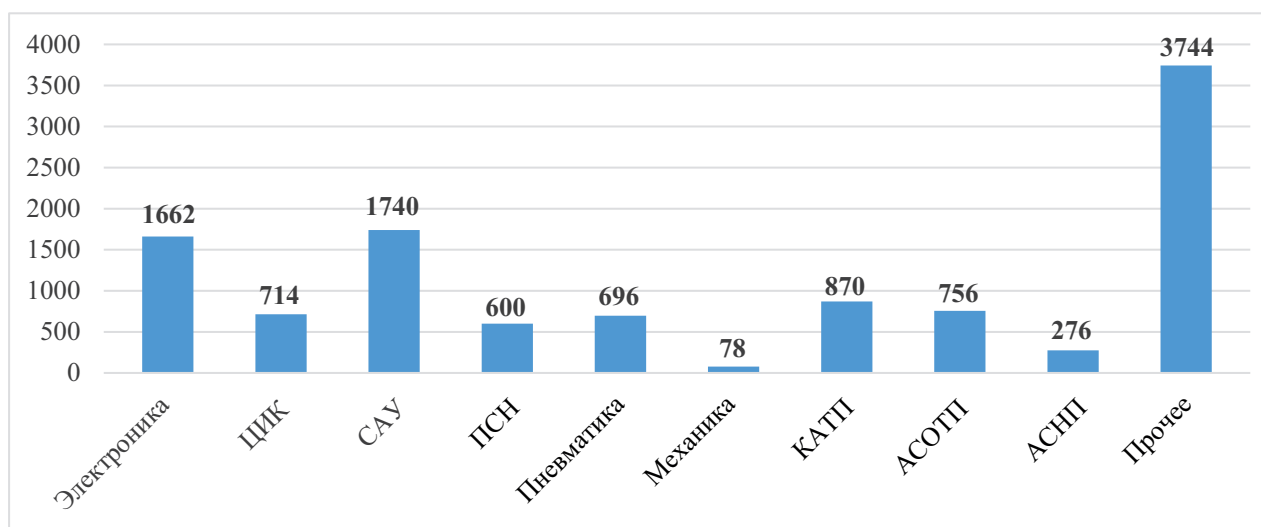
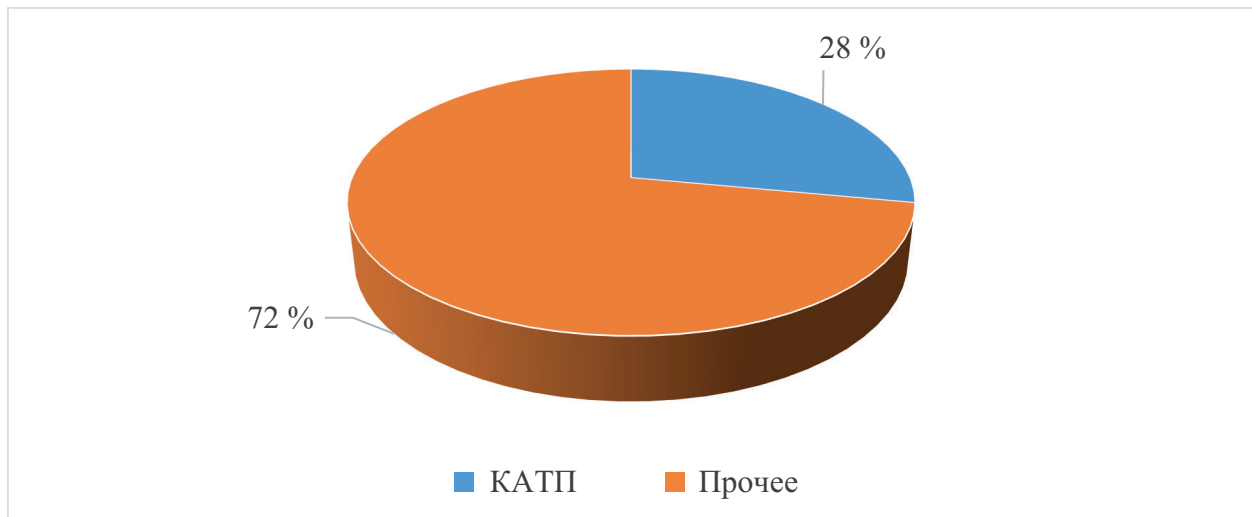


Рис. 1. Общее количество отказов за период с 2020 по 2024 год

Особое внимание обращает на себя тот факт, что в категории высоковольтного оборудования около 28% отказов приходится непосредственно на тяговый привод (рис. 2). Такое процентное соотношение подчеркивает критическую значимость рассматриваемого узла в общей структуре неисправностей высоковольтных систем. Это обстоятельство обуславливает необходимость в пересмотре и усилении мер по диагностике, обслуживанию и профилактике данного комплекса оборудования, а также в потенциальной оптимизации его конструктивных решений.



**Рис. 2.** Диаграмма процентного соотношения отказов тягового привода высоковольтного оборудования

К значительному увеличению эксплуатационных расходов приводит, кроме того, высокая частота отказов тягового оборудования. Особенно актуальна данная проблема для современного электроподвижного состава Московского метрополитена. В результате возрастают затраты на оплату труда, расходные материалы, электроэнергию и прочие нужды, обусловленные регулярным проведением ремонтных работ и оперативным восстановлением вышедших из строя систем. Это крайне негативно сказывается на общей экономической эффективности и снижает операционную готовность парка подвижного состава.

Таким образом, стратегически важными представляются инвестиции в повышение надежности тягового привода, которые позволят оптимизировать эксплуатационные процессы и снизить совокупную стоимость владения парком подвижного состава.

Для дальнейшего проведения статистического анализа сформирована специальная классификация типов отказов, которая позволила систематизировать имеющиеся данные и выявить скрытые закономерности в функционировании оборудования.

### **Классификация отказов тягового привода**

#### ***По характеру и уровню проявления (функциональный признак):***

- *Функциональные отказы:* характеризуются полной потерей основной тяговой функции. В этом случае привод не способен генерировать крутящий момент, что приводит к невозможности движения или экстренной остановке подвижного состава [8, 10].

- *Частичные отказы:* сопровождаются заметным снижением эксплуатационных характеристик при сохранении базовой работоспособности. Сюда относятся

ухудшение параметров, падение выходной мощности, ограничение максимальной скорости или снижение КПД системы [8, 10].

- *Временные или переходные отказы (сбои)*: представляют собой кратковременные нарушения, вызванные ложным срабатыванием систем защиты, электромагнитными помехами или программными противоречиями. Часто такие инциденты устраняются путем перезагрузки системы управления без механического вмешательства [8, 10].

#### ***По физической природе возникновения:***

- *Электрические отказы* включают в себя повреждения силовой части, такие как межвитковые короткие замыкания в обмотках двигателя, пробой изоляции, выход из строя силовых IGBT-модулей инвертора или перегорание предохранителей в цепях высокого напряжения.

- *Электронные и программные сбои* охватывают логические ошибки в алгоритмах векторного управления, выход из строя микроконтроллеров, сбои в работе программируемых логических контроллеров (ПЛК) и некорректные показания датчиков тока, частоты или положения ротора.

- *Механические повреждения* связаны с естественным износом или разрушением конструктивных элементов тяговых редукторов, разрушением тел качения в подшипниковых узлах, деформацией валов или нарушением соосности муфт.

- *Тепловые отказы* возникают вследствие нарушения работы системы охлаждения, что ведет к критическому перегреву полупроводников или обмоток, ускоряя износ изоляционных материалов и термическое разрушение компонентов.

- *Отказы из-за внешних факторов* обусловлены агрессивным воздействием окружающей среды, включая проникновение влаги (конденсат), коррозионные процессы, абразивное загрязнение и механические удары посторонними предметами.

#### ***По временному периоду и этапу жизненного цикла:***

- *Ранние отказы (прирабочные)* проявляются в начальный период, после ввода в эксплуатацию. Как правило, являются следствием производственного брака, конструктивных просчетов или ошибок, допущенных при монтаже и пусконаладке.

- *Отказы в период нормальной эксплуатации* возникают случайным образом в середине расчетного срока службы оборудования. Они имеют практически постоянную интенсивность и труднопредсказуемы.

- *Отказы по причине износа* наступают непосредственно на завершающем этапе жизненного цикла (из-за физического старения материалов), накопления усталостных напряжений металла, выработки ресурса электронных компонентов.

#### ***По степени критичности для безопасности движения:***

- *Критические (блокирующие)* являются причиной немедленного прекращения работы состава на линии. Требуют буксировки непосредственно в депо и представляют наибольшую угрозу для безопасности движения.

- *Некритические (эксплуатационные)* позволяют продолжить движение (в аварийном или ограниченном режиме, например на пониженной мощности). Ремонт может быть отложен непосредственно до планового захода в депо.

- *Предупреждающие* — начальная стадия развития неисправности. Проявляются через косвенные признаки, среди которых — нехарактерный шум, повышенная вибрация, малые утечки масла или специфический запах. Это свидетельствует о необходимости скорой диагностики.

### **Источники данных и методика их подготовки**

Качество статистики и точность прогнозирования остаточного ресурса напрямую связаны с чистотой и полнотой исходной информации. Процесс сбора данных для анализа отказов тягового привода базируется на следующих источниках.

#### ***Регистрационные журналы и сервисная документация депо:***

- *Журналы учета неисправностей* содержат первичную информацию о дате, времени и характере выявленной проблемы, а также фиксируют трудозатраты на ее устранение.

- *Ремонтные ведомости и акты о дефектах:* подробные технические отчеты, в которых описывается состояние демонтированных узлов, перечисляются замененные компоненты и указываются выявленные причины выхода из строя после вскрытия агрегатов.

- *Бортовые журналы машинистов (ТУ-152)* содержат субъективные наблюдения персонала о поведении техники в реальных условиях эксплуатации, предшествовавших моменту отказа.

#### ***Телеметрические системы и архивы бортовых накопителей:***

- *Лог-файлы систем управления:* данные с блоков регистрации параметров движения поезда (РПДП), фиксирующие значения токов, напряжений, температур и частоты вращения в режиме реального времени. Анализ этих записей позволяет восстановить хронологию событий непосредственно перед аварией и выявить первопричину с высокой точностью.

Проведенный анализ основан на комплексной оценке эксплуатационных характеристик подвижного состава метрополитена модели 81.775 «Москва-2020» за четырехлетний период. Главная цель исследования — систематизация и определение категорий отказов, а также установление их статистической значимости.

В ходе сбора данных было зарегистрировано 870 инцидентов, которые сгруппированы в несколько базовых категорий, что позволило выявить основные группы неисправностей [3, 7–10].

К первой группе относятся поломки механических частей, преимущественно узлов, агрегатов, редукторов и муфт системы тягового привода. Всего выявлено около 80 инцидентов, что составляет 16 % от общего числа поломок.

В результате выявления данной категории нами была подтверждена необходимость проведения регулярного технического обслуживания. Подобные критически важные элементы требуют постоянного мониторинга износа. Неправильное функционирование ведет к значительному снижению эффективности работы подвижного состава и ставит под угрозу безопасность эксплуатации всего транспортного комплекса (рис. 3).

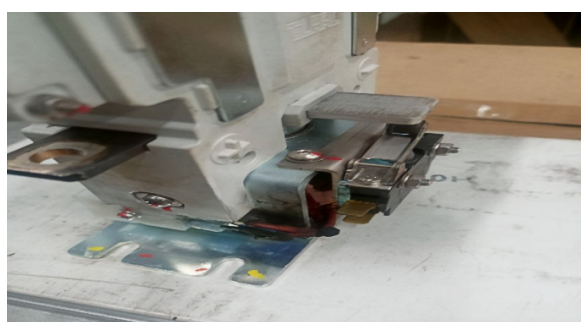


**Рис. 3.** Люфт выходного вала от тягового редуктора к муфте.

Фото: Д. Д. Никонова

Ко второй группе были отнесены сбои электрических цепей, включающие в себя как управляющие, так и силовые контуры. Это самый распространенный вид нарушений работы тягового привода — 300 эпизодов отказов и 40% от общего числа.

Причины данных поломок обусловлены многими факторами, когда внутренние производственные дефекты компонентов усугубляются внешними эксплуатационными воздействиями (рис. 4). К числу последних отнесены значительные колебания температурного режима и повышенная влажность окружающей среды. Это необходимо учитывать при разработке стратегий повышения надежности электрических систем.



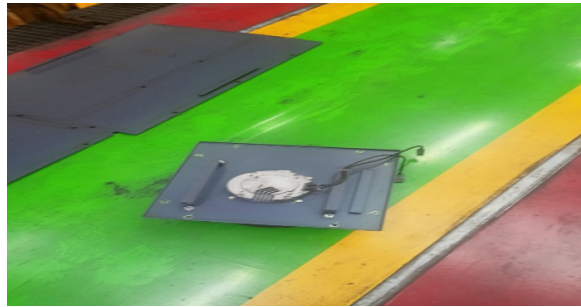
**Рис. 4.** Сгоревший варистор зарядного контактора, тягового привода.

Фото: Д. Д. Никонова

К третьей группе относятся нарушения функционирования системы охлаждения. Данный комплекс играет важную роль в рамках обеспечения нормального

температурного режима. Перегрев тягового привода нарушает его стабильную работу, а также приводит к повышению тепловой нагрузки на остальные элементы системы (рис. 5). Это сокращает ресурс оборудования и повышает риск внезапных остановок подвижного состава.

В течение рассматриваемого периода было зафиксировано приблизительно 210 случаев таких отказов, то есть 30% от общего числа зарегистрированных неисправностей.

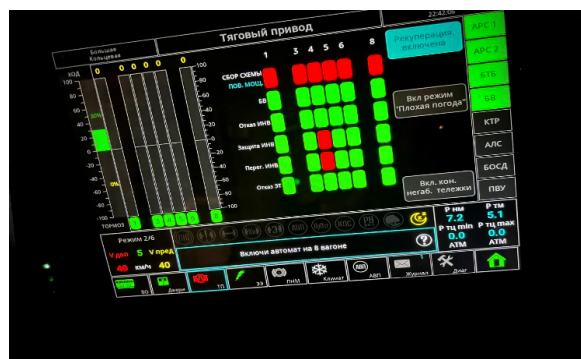


**Рис. 5.** Неисправный вентилятор охлаждения силового инвертора.

Фото: Д. Д. Никонова

К четвертой группе относятся прочие категории отказов — 122 случая и порядка 14% от общего объема. В нее входит широкий спектр дефектов, в частности программные сбои в интегрированных системах управления (рис. 6), что требует повышения устойчивости программного обеспечения.

Также в эту категорию входят различные виды механических повреждений кабельной инфраструктуры и электрических соединений, требующих повышенного внимания к качеству монтажа и надежной защите такого оборудования.



**Рис. 6.** Некорректное отображение информации состояния тягового привода.

Фото: Д. Д. Никонова

Таким образом, статистика 870 зарегистрированных отказов тягового привода подвижного состава метро модели 81.775 «Москва-2020» за четырехлетний период формирует структуру распределения неисправностей (см. таблицу).

**ТАБЛИЦА. Процентное соотношение отказов групп оборудования тягового привода**

Группа(-ы) неисправностей	Процентное соотношение	Количество случаев	Факторы возникновения
Отказы механических частей	16%	139	Повышенный износ
Неисправности электрических цепей	40%	348	Перегрев, КЗ
Неисправности системы охлаждения	30%	261	Клин вентиляторов охлаждения
Прочие виды неисправностей	14%	122	Программные сбои

Представленные данные показывают доминирующее влияние непосредственно на надежность тягового привода неисправностей электрических цепей и систем охлаждения (рис. 7). Указанные выводы могут служить основой разработки адресных программ профилактического обслуживания и модернизации. Их целью является повышение эксплуатационной надежности, снижение количества внеплановых остановок подвижного состава.

**Рис. 7.** Диаграмма процентного соотношения групп отказов тягового привода

## Выводы

На основании анализа отказов систем тягового привода выявлено, что наиболее частыми видами неисправностей, которые могут возникнуть при эксплуатации состава на линии, являются неисправности охлаждения и электрических цепей.

Рассмотренный в статье анализ позволяет выявить причины и очаги возникновения неисправностей тягового привода, а также выработать стратегию технического обслуживания и ремонта, которая минимизирует их возникновение.

Данными, которые были получены в результате анализа, обусловлена необходимость более тщательного мониторинга технического состояния тягового

привода (при плановом техническом обслуживании, ремонте парка подвижного состава). Помимо этого, возникает необходимость усиления контроля состояния электрической составляющей и систем охлаждения тягового привода. Кроме того, результаты проведенного анализа демонстрируют необходимость совершенствования современного регламента планового технического обслуживания и ремонта современных вагонов метро, а также переобучения рабочего персонала.

### Список источников

1. Кори́тов А. Ю., Кульков А. А. Как оценивать качество капитального ремонта // Мир транспорта. 2014. Т. 12, № 2 (51). С. 110–113. EDN SFRIEN
2. Куликов М. Ю., Воронин Н. Н., Гущин Д. С. Причины отказов тормозных систем поездов Московского метрополитена // Транспортное машиностроение. 2025. № 2 (38). С. 49–54. DOI: 10.30987/2782-5957-2025-2-49-54. EDN NDCFKE
3. Калиничев В. П. Метрополитены. М.: Транспорт, 1988. 279 с.
4. Ле С. Х., Тулупов В. Д. Сравнительная технико-экономическая эффективность вагонов метрополитена с альтернативными системами тягового электропривода // Электротехнические и информационные комплексы и системы. Т. 11, № 3. 2015. С. 30–38.
5. Ле С. Х., Тулупов В. Д. Анализ и оценка энерго-экономической эффективности вагонов метрополитена с альтернативными системами тягового электропривода // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2015. Т. 15, № 3. С. 74–81.
6. Кори́тов А. Ю., Кульков А. А., Скороход А. А. Оценка качества капитального ремонта ПС // Мир транспорта. 2012. Т. 10, № 2 (40). С. 130–133. EDN PAMMZR
7. Панкратов С. А. Теория надежности транспортных систем. М.: Наука, 2021. 312 с.
8. Акимов А. В. Мониторинг и диагностика электрооборудования вагонов метрополитена // Вестник транспорта. 2022. № 5. С. 12–18.
9. Шапшал А. С., Кравчук В. А. Повышение эксплуатационной надежности тяговых систем электроподвижного состава на основе мониторинга теплового состояния // Наука и техника транспорта. 2023. № 1. С. 44–50.
10. Ершков О. Н., Лаврентьев И. В. Методы оценки и прогнозирования надежности узлов электропоездов метрополитена нового поколения // Транспорт: наука, техника, управление. 2024. № 4. С. 22–28.

Дата поступления: 12.04.2026

Дата публикации: 24.05.2026

### Контактная информация:

КУЛЬКОВ Анатолий Александрович — доктор техн. наук, профессор; pow12@mail.ru

НИКОНОВ Даниил Дмитриевич — аспирант; nikonov.daniil.2002@gmail.com

ГРЯЗНОВА Елизавета Леонидовна — аспирант; gryaznovae.l@mail.ru

## Statistical Analysis of Failures in the Traction Drive Systems of the Moscow Metro Electric Rolling Stock

**A. A. Kul'kov, D. D. Nikonov, E. L. Gryaznova**

Russian University of Transport (MIIT), bldg. 9, 9 Obraztsova st., Moscow, 127994, Russia

**For citation:** *Kul'kov A. A., Nikonov D. D., Gryaznova E. L. Statistical Analysis of Failures in the Traction Drive Systems of the Moscow Metro Electric Rolling Stock // Bulletin of Scientific Research Results, 2026, iss. 2, pp. 149–160. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-2-149-160 (In Russian)*

### Abstract

**Objective:** to systematize, quantify failures in traction drive system for period of 2020–2024, identify main types of malfunctions, establish priority areas for technical and organizational measures aimed at reducing frequency of unscheduled repairs and optimizing the total cost of the electric rolling stock fleet in possession.

**Methods:** statistical analysis of failures was used including categorization into types (electrical, mechanical, and software), calculation of percentage of failures, time series analysis, quantitative analysis between operational parameters and the probability of failure. Data from service logs, diagnostic systems, contact checks was used, and a method was developed to assess the impact of operating conditions and service quality on reliability parameters. **Results:** the analysis results allowed us to identify the most vulnerable components and systems of the traction drive, determine distribution of failure types. **Practical significance:** there is a need to develop reasonable recommendations for diagnostics, prevention, and modernization of traction drive units, implementation of regular thermal imaging, contact checks, automated monitoring of currents, voltages, strengthening of diagnostics programs, adaptation of maintenance intervals based on the actual condition. The implementation of proposed measures can improve the system's reliability, reduce the number of unscheduled repairs, and decrease the operational costs of the electric rolling stock fleet.

**Keywords:** subway, electric rolling stock, traction drive, statistical analysis, failures, operation, maintenance

### References

1. Korytov A. Yu., Kul'kov A.A. Kak otsenivat' kachestvo kapital'nogo remonta [How to Assess the Quality of Capital Repairs], *Mir transporta [World of Transport and Transportation]*, 2014, vol. 12, no. 2 (51), pp. 110–113. EDN SFRIEH (In Russian)
2. Kulikov M. Yu., Voronin N.N., Gushchin D.S. Prichiny otkazov tormoznykh sistem poezdov Moskovskogo metropolitena [Reasons for Failures of the Brake Systems of Moscow Metro Trains], *Transportnoe mashinostroenie [Transport Engineering]*, 2025, no. 2 (38), pp. 49–54. EDN NDCFKE (In Russian)
3. Kalinichev V.P. Metropoliteny [Metropolitans], Moscow, Transport, 1988, 279 p. (In Russian)
4. Le X.H., Tulupov V.D. Sravnitel'naya tekhniko-ekonomicheskaya effektivnost' vagonov metropolitena s al'ternativnymi sistemami tyagovogo elektroprivoda [Comparative Technical and Economic Efficiency of Subway Cars with Alternative Traction Electric Drive Systems], *Elektrotekhnicheskie i informatsionnye komplekсы i sistemy [Electrotechnical and Information Complexes and Systems]*, vol. 11, no. 3, 2015, pp. 30–38. (In Russian)
5. Le X.H., Tulupov V.D. Analiz i otsenka energo-ekonomicheskoy effektivnosti vagonov metropolitena s al'ternativnymi sistemami tyagovogo elektroprivoda [Analysis and Evaluation of the

Energy and Economic Efficiency of Subway Cars with Alternative Traction Electric Drive Systems], *Vestnik YuUrGU. Seriya "Energetika"* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Power Engineering], vol. 15, no. 3, pp. 74–81. (In Russian)

6. Korytov A. Yu., Kul'kov A. A., Skorokhod A. A. Otsenka kachestva kapital'nogo remonta PC [Assessment of the Quality of Capital Repairs of the PC], *Mir transporta [World of Transport and Transportation]*, 2012, vol. 10, no. 2 (40), pp. 130–133. EDN PAMMZP (In Russian)

7. Pankratov S. A. Teoriya nadezhnosti transportnykh sistem [Theory of Reliability of Transport Systems], Moscow, Nauka Publishers, 2021, 312 p. (In Russian)

8. Akimov A. V. Monitoring i diagnostika elektrooborudovaniya vagonov metropolitena [Monitoring and Diagnostics of Subway Car Electrical Equipment], *Vestnik Transporta [Journal of Transport]*, 2022, no. 5, pp. 12–18. (In Russian)

9. Shapshal A. S., Kravchuk V. A. Povyshenie ekspluatatsionnoj nadezhnosti tyagovykh sistem elektropodvizhnogo sostava na osnove monitoringa teplovogo sostoyaniya [Improving the Operational Reliability of Traction Systems of Electric Rolling Stock Based on Monitoring the Thermal State], *Nauka i tekhnika transporta [Science and Technology of Transport]*, 2023, no. 1, pp. 44–50. (In Russian)

10. Ershkov O. N., Lavrentiev I. V. Metody otsenki i prognozirovaniya nadezhnosti uzlov elektropoezdov metropolitena novogo pokoleniya [Methods for Assessing and Predicting the Reliability of Nodes of New Generation Subway Electric Trains], *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie [Transport: Science, Technology, Management]*, 2024, no. 4, pp. 22–28. (In Russian)

Received: April 12, 2026

Accepted: May 24, 2026

**Author's information:**

Anatoly A. KUL'KOV — Dr. Sci in Engineering, Professor; pow12@mail.ru

Daniil D. NIKONOV — Postgraduate Student; nikonov.daniil.2002@gmail.com

Elizaveta L. GRYAZNOVA — Postgraduate Student; gryaznovae.l@mail.ru