

УДК 621.3.019.34

Анализ отказов тягового электрооборудования на скоростных электропоездах постоянного тока серии ЭС104 «Финист»

В. О. Иващенко, А. В. Шелагуров

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Иващенко В. О., Шелагуров А. В. Анализ отказов тягового электрооборудования на скоростных электропоездах постоянного тока серии ЭС104 «Финист» // Известия Петербургского государственного университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 1. С. 92–100. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-92-100

Аннотация

Цель: в 2025 году началась регулярная эксплуатация скоростных электропоездов серии ЭС104 с асинхронным тяговым приводом на участках обслуживания Октябрьской железной дороги. В ходе эксплуатации был выявлен ряд отказов тягового электрооборудования, а именно асинхронных тяговых электродвигателей и тяговых преобразователей. В статье рассматриваются виды и причины возникновения отказов асинхронного тягового привода, выявленных в течение шести месяцев эксплуатации электропоездов серии ЭС104 на Октябрьской железной дороге на основании данных их технического обслуживания и ремонта. **Методы:** проведенное исследование включает в себя анализ неисправностей асинхронного тягового привода электропоездов серии ЭС104, которые, в свою очередь, привели к отказам асинхронных тяговых двигателей и тяговых преобразователей. **Результаты:** было установлено, что отказы асинхронных тяговых двигателей обусловлены проблемами изоляции их статорной обмотки, что приводило к неисправностям, таким как снижение сопротивления статорной обмотки относительно корпуса тягового двигателя, межфазное замыкание статорной обмотки тягового двигателя, обрыв фазы статорной обмотки тягового двигателя. Отказы тяговых преобразователей главным образом связаны с неисправностями тягового контроллера или контроллера тормозного регулятора. Данные факты свидетельствуют о необходимости повышения качества при производстве данного электрооборудования с целью повышения его надежности. В результате исследования разработаны рекомендации по устранению выявленных неисправностей. **Практическая значимость:** результаты работы имеют значение для совершенствования технологии производства и ремонта силового электрооборудования электрического подвижного состава, так как затрагивают основную проблему, возникающую при эксплуатации современных скоростных электропоездов серии ЭС104, связанную с систематическими отказами асинхронных тяговых двигателей и тяговых преобразователей.

Ключевые слова: электропоезд ЭС104, отказ, тяговое электрооборудование, тяговый электродвигатель, статорная обмотка, тяговый преобразователь, система управления электропоездом, тяговый контроллер, тормозной регулятор

Введение

В 2023 году машиностроительным заводом «Уральские локомотивы» организовано производство скоростных электропоездов постоянного тока типа «Электропоезд пригородный экспресс (ЭПЭ)» серии ЭС104 «Фи-

нист» (рис. 1), разработанной на основе снятой с производства серии электропоездов постоянного тока ЭС2Г «Ласточка» [1]. Производство тягового электропривода для ЭС2Г реализовывала немецкая компания Siemens совместно с предприятием «Уральские локомотивы»,



Рис. 1. Электропоезд ЭС104. Фото: Lordbat116/TrainFoto

используя передовые зарубежные технологии машиностроения [2]. В отличие от предшественника, электропоезд ЭС104 обладает тяговым оборудованием отечественного производства, способным обеспечить быстрый разгон до 160 км/ч, что считается его главным преимуществом [3].

Кроме того, на электропоездах новой серии изменено расположение части электрооборудования в вагонах по сравнению с ЭС2Г, где тяговое оборудование расположено в головных и моторных промежуточных вагонах без токоприемника (при составности более шести вагонов). На ЭС104 тяговый привод установлен на промежуточные вагоны с токоприемником (рис. 2), а расположение электрического оборудования на головных и прицепных промежуточных вагонах идентично [4].

Виды отказов тягового электрооборудования электропоездов ЭС104

На участках обслуживания Октябрьской железной дороги — филиала ОАО «РЖД» первый электропоезд серии ЭС104 № 038 приступил к регулярной эксплуатации с пассажирами

1 мая 2025 года. За первые 6 месяцев эксплуатации электропоездов выявлен 41 случай отказов тягового оборудования, из них по причине неисправности тягового электродвигателя (далее — ТЭД) произошло 27 случаев, по причине неисправности тягового преобразователя (далее — ТП) — 14 случаев.

Рассмотрим виды зарегистрированных отказов тягового оборудования на пяти электропоездах ЭС104, эксплуатирующихся на Октябрьской железной дороге, в течение первых 6 месяцев работы.

1. Неисправность ТЭД:

- 1) снижение сопротивления статорной обмотки относительно корпуса ТЭД — 23 случая;
- 2) межфазное замыкание статорной обмотки ТЭД — 3 случая;
- 3) обрыв фазы статорной обмотки ТЭД — 1 случай.

2. Неисправность ТП:

- 1) неисправность драйвера — 1 случай;
- 2) неисправность резисторов предзаряда — 1 случай;
- 3) неисправность силового модуля инвертора — 1 случай;

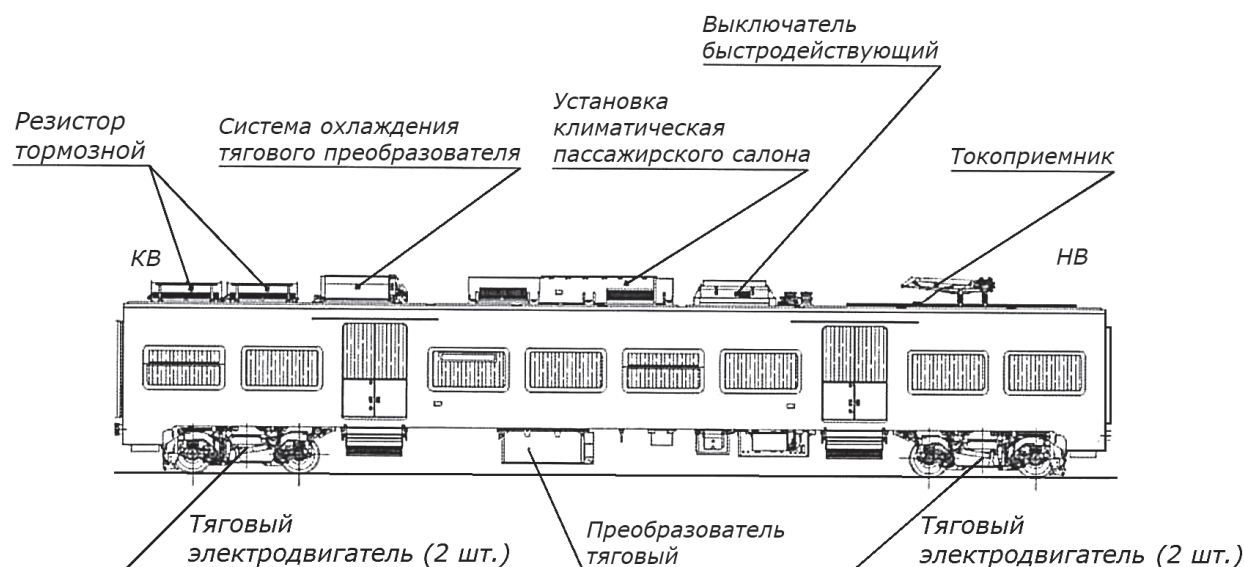


Рис. 2. Расположение электрооборудования на моторном вагоне электропоезда ЭС104

- 4) потеря связи с тяговым контроллером — 3 случая;
- 5) неисправность тягового контроллера или контроллера тормозного регулятора — 7 случаев;
- 6) неисправность источника питания датчика давления охлаждающей жидкости — 1 случай.

Рассмотрим назначение и устройство ТЭД, применяемых на электропоездах ЭС104. Тяговый электродвигатель предназначен для преобразования электрической энергии в механическую, затрачиваемую на движение электропоезда. На данном типе подвижного состава в качестве ТЭД применяются шестиполусные асинхронные трехфазные электрические машины с короткозамкнутым ротором и самовентиляцией (рис. 3). Двигатель получает питание от тягового преобразователя электропоезда, через тяговый редуктор вращающий момент передается от двигателя к колесной паре электропоезда. Основными элементами ТЭД, в которых происходит преобразование энергии, являются статор и ротор, разделенные воздушным зазором [5].

Обмотка короткозамкнутого ротора выполнена в виде «беличьей клетки»: состоит из медных стержней, замкнутых накоротко с торцов сердечника ротора двумя бронзовыми кольцами. С точки зрения электротехники «беличья клетка» представляет собой многофазную обмотку, соединенную в звезду и замкнутую накоротко. Стержни этой обмотки вставлены в пазы сердечника ротора. Сердечник ротора напрессован на вал двигателя и состоит из листов электротехнической стали (ГОСТ 21427.2) с термостойким электроизоляционным покрытием [6].

Статор (рис. 3, поз. 1) — неподвижная часть ТЭД — представляет собой пакет изолированных листов из электротехнической стали (сердечник), запрессованный в корпус в неразборный блок. Трехфазная обмотка статора (рис. 3, поз. 7), которая подключается к электрической сети, помещена в пазы пакета пластин, они закрываются пазовыми клиньями. Коммутирующие концы катушек, коммутационные соединения статора и присоединительные выводные шины плотно спаяны друг с другом. Обмотка

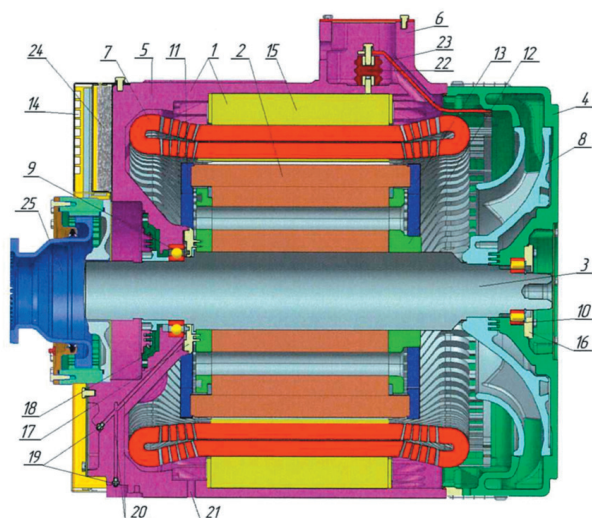


Рис. 3. Расположение основных элементов тягового электродвигателя: 1 — статор; 2 — ротор; 3 — вал ротора; 4 — подшипниковый щит; 5 — станина; 6 — коробка выводов; 7 — обмотка статора; 8 — вентилятор; 9 — шарикоподшипник; 10 — роликовый подшипник; 12 — упорная шайба; 11, 13 — короткозамыкающие кольца; 14 — воздухозаборная решетка; 15 — сердечник статора; 16 — крышка подшипника (сторона НП); 17 — крышка подшипника (внутренняя); 18 — крышка подшипника (наружная); 19 — масленка; 20 — масляный канал; 21 — отверстие для слива конденсата; 22 — изолятор; 23 — фазная шина; 24 — фильтровальное полотно; 25 — полумуфта

статора двигателя выполнена с соединением трех фаз в глухую звезду с изолированной нейтралью. Обмотки вместе со всеми коммутационными соединениями объединены в неразборный блок посредством вакуумной пропитки. Если обмотка статора или выводное соединение имеют повреждения, то обмотка в сборе полностью заменяется, ее частичный ремонт невозможен [4, 7, 8].

На моторные вагоны электропоездов ЭС104 приписки Октябрьской железной дороги установлены двигатели асинхронные тяговые ДАТ-330У1 производства АО «ПТФК «ЗТЭО». Установлено, что все отказы ТЭД на электропоездах данной локации связаны с неисправностями статорной обмотки.

Рассмотрим причины неисправностей статорной обмотки, которые привели к отказам ТЭД при эксплуатации электропоездов ЭС104 на полигоне Октябрьской железной дороги.

1. Снижение сопротивления статорной обмотки относительно корпуса ТЭД. Снижение сопротивления изоляции обмоток должно быть не менее 20 МОм в холодном состоянии, не менее 5 МОм в нагретом состоянии, не менее 3 МОм после сушки увлажненной изоляции [8]. Возникновение данной неисправности в рассматриваемых случаях отказов ТЭД было обусловлено пробоем изоляции обмотки статора на корпус ТЭД, в результате чего ее сопротивление снижалось до 0, что, в свою очередь, приводило к аварийному режиму работы ТЭД с его последующим отказом. Причины данной неисправности связаны с нарушениями в технологии сборки ТЭД и в процедуре пропитки статора при производстве, что могло способствовать попаданию влаги, грязи внутрь двигателя, значительному перегреву обмоток статора при нарушении вентиляции или перегрузках двигателя, механическому повреждению изоляции.

2. Межфазное замыкание статорной обмотки ТЭД. Обусловлено механическим разрушением изоляции обмотки статора, в результате чего происходил ее пробой на корпус ТЭД. Причины и последствия короткого замыкания между статорной обмоткой и корпусом ТЭД рассмотрены в п. 1.

3. Обрыв фазы статорной обмотки ТЭД. Возможные причины: нарушение изоляции

статорных обмоток, ослабление креплений шинных перемычек, межкатушечных перемычек и выводных шин. В результате в одной фазе статора при поданном напряжении электрический ток отсутствует, двигатель при пуске вращается рывками, с гудящим шумом [8].

Так как в результате одной из перечисленных неисправностей ТЭД выходит из строя, то с целью нормализации работы тягового привода производится замена отказавшего двигателя на новый исправный модели ДАТ-330У1 производства АО «ПТФК «ЗТЭО».

Рассмотрим назначение и устройство тяговых преобразователей, применяемых на электропоездах ЭС104. Тяговый преобразователь осуществляет преобразование напряжения 3 кВ постоянного тока в трехфазное переменное напряжение регулируемой амплитуды и частоты с целью питания асинхронных тяговых электродвигателей [4, 9]. На электропоездах серии ЭС104 применяется тяговый преобразователь «ПТ-Восток» (ЕГРЦ.435552.001) [4]. Данное устройство выполняет ряд функций, таких как питание ТЭД и управление ими с помощью команд, получаемых от системы управления электропоезда посредством двух независимых каналов; возврат электрической энергии, создаваемой тяговыми двигателями в режиме электродинамического торможения (далее — ЭДТ), в контактную сеть (при рекуперации) или ее передача на тормозные резисторы (при реостатном торможении), в том числе при отключении быстродействующего выключателя (БВ) в процессе ЭДТ; питание двух преобразователей собственных нужд (далее — ПСН) постоянным напряжением в диапазоне от 2200 до 4000 В [4].

На электропоезде ЭС104 ТП установлены под кузовами моторных вагонов. Их конструктивное исполнение позволяет размещать все составные части в одном контейнере (рис. 4) [4, 10].

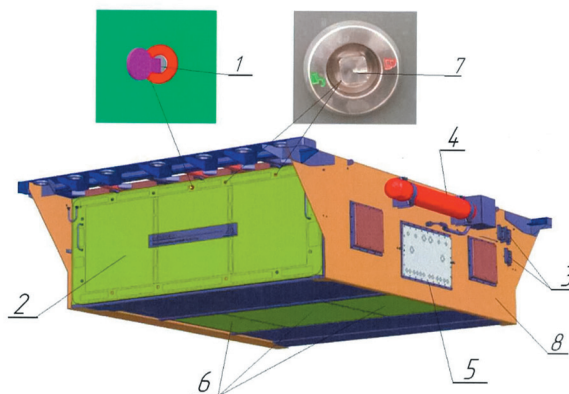


Рис. 4. Общий вид тягового преобразователя:

1 — специальный ключ; 2 — смотровой люк отсека А; 3 — низковольтные разъемы XI, X2, X3; 4 — модуль пожаротушения; 5 — кабельная плита; 6 — смотровые люки отсека В; 7 — замки под четырехгранный ключ; 8 — передняя стенка [4]

В состав рассматриваемого тягового преобразователя входят два контура, которые осуществляют передачу электрической энергии к потребителям по шести каналам. Контур 1 включает в себя канал № 1, предназначенный для питания первого и второго ТЭД, канал № 3, предназначенный для подключения тормозного резистора 1, и канал № 5, предназначенный для питания ПСН 1. Контур 2 включает в себя канал № 2, предназначенный для питания третьего и четвертого ТЭД, канал № 4, предназначенный для подключения тормозного резистора 2, и канал № 6, предназначенный для питания ПСН 2. Данные контуры питания работают автономно. В случае неисправности одного из основных элементов (кроме системы охлаждения) работоспособность данного ТП сохраняется, но с меньшей мощностью [4].

Тяговый преобразователь «ПТ-Восток» (ЕГРЦ.435552.001) функционально делится на несколько групп: контейнер, силовые контакторы, устройство предварительного заряда конденсаторов, два дросселя, панели

конденсаторов фильтрации входного напряжения, тяговый инвертор, тормозной регулятор, система управления, система охлаждения, защитные предохранители канала питания ПСН, система пожаротушения [4].

Самыми распространенными из выявленных отказов ТП на ЭС104, эксплуатируемых на Октябрьской железной дороге, по итогам 6 месяцев работы явились неисправность тягового контроллера или контроллера тормозного регулятора и потеря связи с тяговым контроллером. Для того чтобы проанализировать данные отказы, рассмотрим назначение и работу тягового контроллера как элемента системы управления электропоездом (далее — СУЭ).

СУЭ выполняет управление режимами «тяга» и «торможение» на ТЭД в соответствии с заданием тяговых или тормозных усилий контроллером машиниста. Далее происходят выдача команд составным частям ТП, сбор диагностической информации от аппаратуры ТП и синхронизация параллельной работы с другими ТП. В результате на валах ТЭД реализуется соответствующий момент силы. ТП и СУЭ взаимодействуют между собой через основной и резервный выходные каналы Ethernet [4].

Тяговый контроллер — это элемент СУЭ, обеспечивающий опрос, выдачу команд и уставок составным частям ТП, а также связь между другими элементами СУЭ [4]. Следовательно, выход из строя тягового контроллера приводит к нарушениям в алгоритмах работы СУЭ при задании контроллером машиниста режима тяги или торможения, что, в свою очередь, ведет к прекращению штатной работы ТП. В результате этого тяговый инвертор не осуществляет преобразование постоянного напряжения 3 кВ в переменное трехфазное напряжение с регулируемой амплитудой и частотой для питания ТЭД в режиме тяги, а также не реализует возврат

электрической энергии в режиме рекуперативного торможения [4].

Тормозной регулятор выполняет свою функцию с помощью тормозного резистора [10]. При реализации ЭДТ возможен переход ТП из режима рекуперативного торможения в режим реостатного торможения. При этом напряжение с тормозного регулятора поступает на тормозные резисторы, где электрическая энергия рассеивается в виде тепла [4, 10].

Также тормозной регулятор способен разряжать конденсаторы промежуточного контура, предназначенные для защиты тяговых инверторов от пульсаций напряжения в контактной сети. Кроме того, он ограничивает динамические перенапряжения промежуточного звена для защиты силовых модулей. В данных случаях тормозные резисторы используются в качестве активных фильтров [4].

При выходе из строя контроллера тормозного регулятора теряется возможность управления его перечисленными режимами работы.

Выявленные случаи потери связи с тяговым контроллером были обусловлены некачественным контактом между электрическим разъемом цепей управления X2 (рис. 5)

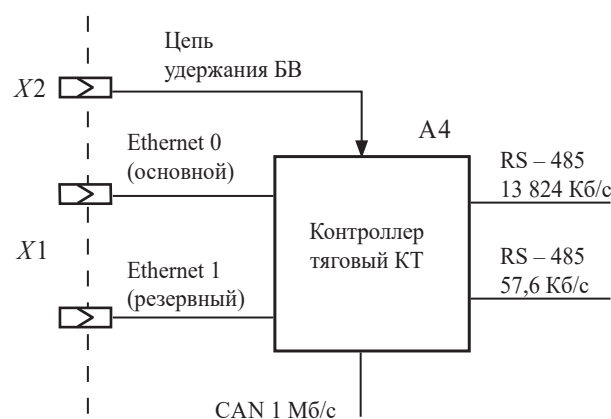


Рис. 5. Структурная схема внутренней кодовой линии связи тягового контроллера

и низковольтным кабелем, подводимым к ТП. В результате тяговый котроллер питание не получал, а ТП прекращал выполнять работу.

Выводы

Анализ рассмотренных видов отказов тягового электрооборудования на скоростных электропоездах постоянного тока серии ЭС104 показал, что подавляющее большинство неисправностей тягового привода обусловлено пробоем изоляции статорной обмотки асинхронного тягового электродвигателя, что приводило к выходам из строя тяговых двигателей. Также были зарегистрированы случаи отказов тяговых преобразователей, бóльшая часть которых явилась следствием неисправности тягового контроллера или контроллера тормозного регулятора, приведившей к невозможности питания тяговых двигателей и реализации рекуперативно-реостатного торможения.

Таким образом, можно сделать вывод о необходимости повышения качества производства тяговых двигателей и тяговых преобразователей, что является важнейшим критерием их надежности. Также необходимо совершенствовать технологию ремонта данных устройств, при этом комплектующие изделия необходимо приобретать у проверенных производителей электрических машин и микропроцессоров. От качества производства и ремонта рассмотренного оборудования зависит надежная эксплуатация электропоездов в условиях жестких требований к безопасности движения, а также возможность повышения уровня автоматизации управления поездами при проектировании новых моделей. По мере совершенствования производства электронных устройств произойдет повышение их надежности. Это, в свою очередь, поспособствует переходу от управления движением поездов локомотивными бригадами к беспилотному управлению.

Следовательно, развитие высокотехнологичного отечественного производства и ремонта силовых электрических машин и микропроцессорных устройств для электроподвижного состава — это не только гарант надежной, безопасной работы подвижного состава, но и необходимый критерий его технического прогресса.

Список источников

1. Скоростной пассажирский электропоезд «Финист» (ЭС104, ЭС105) // Уральские локомотивы. URL: <https://ulkm.ru/products/skorostnye-elektropoezda/es104-finish/#section-advantages> (дата обращения: 15.10.2025).
2. На дачу как на крыльях: в серийный выпуск поступят «Ласточки» российской сборки. URL: https://объясняем.рф/articles/useful/na_dachu_kak_na_krylyakh_v_seriynyy_vypusk_postupyat_lastochki_rossiyskoj_sborki/ (дата обращения: 15.10.2025).
3. Финист. URL: <https://www.rzd.ru/ru/9318/page/9000?id=75> (дата обращения: 15.10.2025).
4. Электропоезд пригородный экспресс типа ЭПЭ серии ЭС104. Руководство по эксплуатации. Часть 4. ЭС104.0.00.000.000 РЭЗ.
5. Кацман М. М. Электрические машины: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. 16-е изд., стер. М.: Академия, 2017. 496 с.
6. Щукин О. С. Электрические машины. Трансформаторы. Асинхронные машины: курс лекций. Нижневартовск: Нижневартовский государственный университет, 2019. 109 с.
7. Электропоезд ЭС2Г: учебное пособие: в 2 ч. / А. В. Ширяев [и др.]; под ред. А. В. Ширяева. М.: ОАО «Российские железные дороги», 2019.
8. Двигатель асинхронный тяговый ДАТ-330У1. Руководство по эксплуатации. ДИЖЦ.526872.001РЭ-ЛУ.
9. Электропоезд с асинхронным тяговым приводом типа ЭГЭ серии ЭС2Г. Руководство по эксплуатации. Часть 2. ЭС2Г.0.00.000.000 РЭ1.
10. Электропоезд с асинхронным тяговым приводом типа ЭГЭ серии ЭС2Г исполнения «Стан-

дарт». Руководство по эксплуатации. Часть 4. ЭС2Г.0.00.000.000-01 РЭЗ.

Дата поступления: 19.01.2026

Решение о публикации: 06.02.2026

Контактная информация:

ИВАЩЕНКО Валерий Олегович — канд. техн. наук, доцент; vio1313@mail.ru

ШЕЛАГУРОВ Александр Владимирович — студент; sasha-shell2014@yandex.ru

Analysis of traction electrical equipment failures in ES104 “Finist” DC high-speed trains

V. O. Ivaschenko, A. V. Shelagurov

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Ivaschenko V. O., Shelagurov A. V.* Analysis of traction electrical equipment failures in ES104 “Finist” DC high-speed trains // Proceedings of Petersburg State Transport University. 2026. Vol. 23, iss. 1. Pp. 92–100. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-92-100. (In Russian)

Abstract

Objective: in 2025, ES104-series high-speed electric trains equipped with asynchronous traction drives commenced regular service on routes operated by the Oktyabrskaya Railway. During this period, a multiple malfunctions of traction electrical equipment – primarily asynchronous traction motors and traction converters – were recorded. This paper analyses the types and underlying causes of asynchronous traction drive failures identified over a six-month monitoring period of ES104 electric train operation on the Oktyabrskaya Railway using maintenance and repair records. **Methods:** this study examines faults in the asynchronous traction-drive system of ES104 trains that precipitated failures of the asynchronous traction motors and traction converters. **Results:** analysis showed that asynchronous traction motor failures originate from insulation breakdowns in their stator windings, leading to reduced insulation resistance between the stator winding and motor housing, interphase short circuits within the winding, and open circuit (phase-break) faults of the stator winding. Failures of traction converters were primarily associated with malfunctions of the traction controller or the brake regulator controller. These observations highlight the imperative to improve the manufacturing quality of the electrical equipment in order to enhance its reliability. The study produced a set of recommendations for eliminating the identified defects. **Practical significance:** these findings are relevant for the advancement of manufacturing technologies for power-electrical systems in electric rolling stock, as they address the primary operational problem facing contemporary high-speed ES104 series trains — recurrent failures of asynchronous traction motors and traction converters.

Keywords: ES104 electric train, failure, traction electrical equipment, traction motor, stator winding, traction converter, electric train control system, traction controller, brake regulator

References

1. Skorostnoj passazhirskij elektropoezd “Finist” (ES104, ES105) // Ural’skie lokomotivy. URL: <https://ulkm.ru/products/skorostnye-elektropoezda/es104->

finist/#section-advantages (data obrashcheniya: 15.10.2025). (In Russian)

2. Na dachu kak na kryl’yakh: v serijnyj vypusk postupyat “Lastochki” rossijskoj sborki. URL: <https://>

ob"yasnyaem.rf/articles/useful/na_dachu_kak_na_krylyakh_v_seriynyy_vypusk_postupyat_lastochki_rossiyskoy_sborki/ (data obrashcheniya: 15.10.2025). (In Russian)

3. Finist. URL: <https://www.rzd.ru/ru/9318/page/9000?id=75> (data obrashcheniya: 15.10.2025). (In Russian)

4. Elektropoezd prigorodnyj ekspres tipa EPE serii ES104. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Chast' 4. ES104.0.00.000.000 REZ. (In Russian)

5. Katsman M. M. Elektricheskie mashiny: uchebnik dlya stud. uchrezhdenij sred. prof. Obrazovaniya. 16-e izd., ster. M.: Akademiya, 2017. 496 s. (In Russian)

6. Shchukin O. S. Elektricheskie mashiny. Transformatory. Asinkhronnye mashiny: kurs lektsij. Nizhnevartovsk: Nizhnevartovskij gosudarstvennyj universitet, 2019. 109 s. (In Russian)

7. Elektropoezd ES2G: uchebnoe posobie: v 2 ch. / A. V. Shiryaev [i dr.]; pod red. A. V. Shiryaeva. M.: OAO "Rossijskie zheleznye dorogi", 2019. (In Russian)

8. Dvigatel' asinkhronnyj tyagovyj DAT-330U1. Rukovodstvo po ekspluatatsii. DIZhTs.526872.001RE-LU. (In Russian)

9. Elektropoezd s asinkhronnym tyagovym privodom tipa EGE serii ES2G. Rukovodstvo po ekspluatatsii. Chast' 2. ES2G.0.00.000.000 RE1. (In Russian)

10. Elektropoezd s asinkhronnym tyagovym privodom tipa EGE serii ES2G ispolneniya "Standart". Rukovodstvo po ekspluatatsii. Chast' 4. ES2G.0.00.000.000-01 RE3. (In Russian)

Received: 19.01.2026

Accepted: 06.02.2026

Author's information:

Valery O. IVASCHENKO — PhD in Engineering, Associate Professor; vio1313@mail.ru

Aleksandr V. SHELAGUROV — Student; sasha-shell2014@yandex.ru