

УДК 629.01:629.03

## Диагностика узлов тяговых электрических двигателей скоростных поездов типа Push-Pull на сети железных дорог России

И. С. Пономарев<sup>1</sup>, М. Ю. Обухов<sup>2</sup>, Д. А. Елин<sup>1</sup>, А. М. Евстафьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

<sup>2</sup>Дирекция тяги — филиал ОАО «РЖД», Россия, 105064, Москва, Басманный тупик, д. 6, лит. А, стр. 4

**Для цитирования:** Пономарев И. С., Обухов М. Ю., Елин Д. А., Евстафьев А. М. Диагностика узлов тяговых электрических двигателей скоростных поездов типа Push-Pull на сети железных дорог России // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 2. С. 315–325. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-2-315-325

### Аннотация

**Цель исследования:** разработка и обоснование методики оперативной оценки технического состояния тягового двигателя и критических узлов, что является фундаментом для перехода от традиционного планово-предупредительного ремонта к современному диагностическому обслуживанию. Это позволяет перейти от регламентных интервалов к обслуживанию по фактическому состоянию оборудования. В рамках работы была создана комплексная имитационная модель на базе MATLAB для двигателя электровоза ЭП21 — ДТА-1200А, используемого в поездах Push-Pull. Модель реализует ключевые **методы** диагностики: вибрационный анализ для выявления механических дефектов (в частности, подшипников серии SKF), тепловой контроль для предотвращения перегрева и анализ гармоник тока статора для раннего обнаружения электрических неисправностей. Для демонстрации работы системы в модель заложен сценарий с имитацией дефекта внешнего кольца подшипника, характеризующийся ростом амплитуды вибрации на характерной частоте ВРФО. Основным **результатом** является предложенная архитектура интегрированной диагностической системы, включающая уровни сбора данных, обработки сигналов, аналитики и формирования решений. Алгоритм на основе взвешенных индексов выдает конкретные рекомендации от продолжения эксплуатации до немедленной остановки. **Практическая значимость** работы заключается в том, что внедрение такой методики на сети железных дорог России позволит повысить надежность и безопасность эксплуатации скоростного подвижного состава, снизить затраты на внеплановые ремонты и оптимизировать логистику технического обслуживания, переведя его на предиктивную (прогнозирующую) основу.

**Ключевые слова:** диагностика, скоростной поезд, Push-Pull, пуш-пул, двигательная установка, узлы двигателя, мониторинг

### Введение

В настоящий момент на сети железных дорог России внедряются скоростные поезда с возможностью эксплуатации по технологии Push-Pull (управление тягой и торможением с обеих сторон), что предъявляет повышенные требования к надежности тяговых электрических двигателей, их узлов и систем привода

(особенно на неэлектрифицированных линиях или гибридных системах) [1, 2].

Традиционные планово-предупредительные ремонты не позволяют эффективно учитывать реальные фактические изменения состояния узлов, что ведет либо к излишним затратам при обслуживании и эксплуатации, либо к отказам. Диагностика состояния узлов в режиме

эксплуатации (онлайн/периодический мониторинг) становится ключевым элементом повышения безопасности и экономичности.

### **Конструктивные особенности и условия эксплуатации двигательной установки поездов Push-Pull и узлов для диагностики**

Локомотивы поездов по технологии Push-Pull управляются с обоих концов состава [3, 4], что позволяет избежать маневровой работы и смены локомотива. Такой режим требует, чтобы двигательные установки на обоих концах подвижного состава находились в синхронизированном состоянии, так как любая дисбалансная нагрузка может привести к повышенным динамическим нагрузкам на узлы.

В таблице указан перечень наиболее критичных узлов, на которые стоит обратить внимание при проведении диагностики.

Климатические условия (низкие температуры, перепады температур) влияют на параметры изоляции, смазки и тепловые нагрузки.

Железнодорожная сеть России включает большое число участков с разной электрификацией (в контексте подразумеваются участки с постоянным и переменным токами в контактной сети), в том числе неэлектрифицированных линий, что может обуславливать наличие дизель-генераторных систем или гибридных приводов.

Расстояния, длительность эксплуатации, значительная изношенность инфраструктуры

накладывают дополнительные требования на надежность и возможность диагностики.

### **Методы диагностики узлов двигательной установки**

При эксплуатации электродвигателей возникают различные неисправности, которые могут остановить работу подвижного состава и привести к запрету дальнейшей эксплуатации [5–8]. Поэтому необходимо оперативно выявлять причину неисправности и устранять ее как можно быстрее.

При эксплуатации асинхронных двигателей возникают отклонения от номинальных значений параметров, вызванные технологическими погрешностями в производстве, неправильным режимом эксплуатации или износом. Повреждения подшипников и элементов статора являются наиболее частыми неисправностями в асинхронных двигателях

К диагностическим методам относятся мониторинг вибрации, акустика, тепловой контроль, электрические методы, обработка сигналов, модели на основе машинного обучения. Классификация видов диагностики узлов тягового двигателя показана на рис. 1.

Методика технической диагностики локомотивного оборудования показывает, что часто диагностика осуществляется на стационарных стендах, но применение корреляционных методов возможно и в эксплуатации.

В российской практике возможно контролировать токи, напряжения, температуру

**ТАБЛИЦА. Узлы, их влияние на работу и дефекты**

Узел	Влияние на работоспособность	Типичные дефекты
Электродвигатель	Потеря мощности, перегрев	Износ подшипников, пробой изоляции
Редуктор	Рост вибраций, шум	Износ зубьев, смещение осей
Система охлаждения	Перегрев узлов	Отказ вентиляторов, утечки жидкости
Электроника управления	Сбой системы	Перегрузки, нарушение связи



Рис. 1. Методы диагностики

обмоток, вибрацию корпуса двигателя, что позволяет выявлять аномалии работы установки на ранней стадии.

С развитием машинного обучения и гибридных подходов возможно сочетание классического анализа и методов машинного обучения для более точной диагностики.

Вибрационная диагностика — это один из наиболее распространенных методов: измерение ускорений, спектральный анализ, выделение характерных частот дефектов (например, износ зубьев, дисбаланс, люфт, дефекты подшипников).

Акустические методы и ультразвуковая диагностика могут дополнять вибрационный анализ, особенно в труднодоступных узлах.

Измерение температуры обмоток, корпуса, смазочной системы — один из простых, но эффективных методов раннего обнаружения перегрева. Инфракрасная термография позволяет визуализировать распределение тепловых полей и выявлять горячие точки, перегревы соединений, дефекты теплоотвода.

В последнее время набирают популярность метод машинного обучения и применение так

называемых цифровых двойников в железнодорожной отрасли.

### Предлагаемая архитектура диагностической системы узлов двигательной установки Push-Pull

Предлагаемая архитектура диагностической системы (рис. 2) для узлов двигательной установки типа Push-Pull представляет собой многоуровневую структуру, объединяющую аппаратные и программные компоненты для непрерывного мониторинга и анализа состояния оборудования.

В основе системы лежит последовательная цепочка обработки данных, начинающаяся с физического уровня сенсоров. На этом этапе задействованы различные измерительные устройства: от акселерометров и температурных датчиков до ультразвуковых детекторов и инфракрасных камер. Они могут быть как стационарными, так и портативными, обеспечивая сбор первичных данных о работе узлов. Собранная информация передается по специализированной сети, которая может включать промышленные интерфейсы типа CAN,



Рис. 2. Архитектура диагностического контроля

Ethernet или беспроводные каналы. При этом критически важны помехоустойчивость и защита данных.

На следующем этапе происходит первичная обработка информации: фильтрация, выравнивание сигналов, удаление шумов и математические преобразования, такие как быстрое преобразование Фурье (FFT) или вейвлет-анализ. После предобработки данные поступают в аналитический модуль, где применяются разнообразные алгоритмы: от простого сравнения с эталонными кривыми до сложных моделей машинного обучения. Здесь же работают детекторы аномалий и классификаторы, выявляющие отклонения от нормы. Итоговые результаты визуализируются в удобной форме: на диагностических панелях отображаются отчеты и рекомендации по обслуживанию, позволяя оперативно принимать решения.

Для эффективной диагностики каждый узел требует индивидуального набора контролируемых параметров. Анализ осуществляется с помощью пороговых методов, сравнительного анализа с базовым эталоном, статистических инструментов (среднее значение, стандартное отклонение, корреляция) и алгоритмов машинного обучения. Особое значение имеет этап обучения моделей, для которого необходим массив исторических данных — как при штатном функционировании, так и при наличии дефектов. Перспективным решением выглядит гибридный подход, сочетающий физическую модель поведения узла с коррекционным слоем на основе машинного обучения.

При внедрении системы на железных дорогах России необходимо учитывать специфику

эксплуатации: ограниченные ресурсы по энергопотреблению и передаче данных, а также особенности размещения оборудования. Датчики целесообразно устанавливать в наиболее критичных узлах, а передачу данных организовывать периодически, например во время стоянок. Оптимальной может стать каскадная архитектура, при которой первичная диагностика выполняется непосредственно на борту подвижного состава, а углубленный анализ — в удаленном центре обработки.

Среди ключевых преимуществ предложенного подхода является возможность раннего выявления усталости узлов без вывода подвижного состава из эксплуатации, снижение затрат на ремонты и повышение безопасности движения. Система также отличается гибкостью: алгоритмы можно адаптировать под конкретные типы поездов и участки пути. Однако существуют и ограничения: необходимость использования высокоточных сенсоров, требования к объему обучающих данных (особенно примеров с дефектами), а также влияние внешних факторов (шумы, температурные колебания, состояние пути) на достоверность результатов. Дополнительные сложности связаны с размещением датчиков и доступом к узлам для их монтажа.

### **Применение машинного обучения и статистических данных в условиях диагностики асинхронного тягового электродвигателя**

В рамках проведения исследования было произведено математическое моделирование асинхронного тягового двигателя ДТА-1200А

и показан пример применения методики диагностирования с экспериментальными данными, на основании которых сделан комплексный анализ.

При построении имитационной модели использовались номинальные параметры тягового электродвигателя ДТА-1200А: мощность на валу 1200 кВт, линейное напряжение 2183 В, номинальный ток 380 А, частота питающего напряжения 58,9 Гц, частота вращения 1766 об./мин., номинальный момент 6489 Н·м. Частота вращения ротора, используемая в расчетах, составила 29,43 Гц.

Для моделирования подшипникового узла принят подшипник типа SKF. В расчетах использовались следующие геометрические параметры: число тел качения равно 8, диаметр тела качения составляет 34 мм, диаметр делительной окружности — 157,5 мм. На основе указанных параметров определены характерные частоты дефектов подшипника: частота прохождения тел качения по наружному кольцу, по внутреннему кольцу, частота вращения сепаратора и частота вращения тела качения.

Частота дискретизации сигналов в модели принята равной 10 000 Гц, длительность моделирования составила 2 с. В качестве диагностируемого сценария задан дефект внешнего кольца подшипника, моделируемый увеличением амплитуды вибрации на частоте и ее гармониках. Дополнительно в сигналы введена случайная составляющая, имитирующая эксплуатационные шумы и помехи.

Код моделирования, составленный для этих целей, предназначен для комплексной диагностики тягового двигателя секции перспективного скоростного пассажирского электровоза серии 2ЭП21 типа ДТА-1200А, который используется в поездах, работающих по технологии Push-Pull. Основной целью моделирования является создание системы мо-

нитинга и раннего обнаружения дефектов двигателя без вывода состава из эксплуатации. Код решает задачи вибрационной диагностики, теплового контроля и анализа электрических параметров в реальном времени. Результаты моделирования на основе машинного обучения, статистики и прогнозируемых результатов показаны на рис. 3.

Кинематические частоты элементов подшипника определяются на основе его геометрических параметров: числа тел качения ( $z$ ), диаметра тела качения ( $d$ ), делительного диаметра дорожек качения ( $D$ ), а также частоты вращения ротора ( $f = n/60$ ). Частота прохождения тел качения через точку наружной дорожки (BPFO) рассчитывается по зависимости:

$$f_{BPFO} = \frac{z}{2} fr \left( 1 - \frac{d}{D} \right),$$

которая выводится из кинематической связи между относительным перемещением тел качения и неподвижным наружным кольцом. Частота дефекта внутренней дорожки (BPFI) определяется аналогично, с учетом вращения внутреннего кольца вместе с валом:

$$f_{BPFI} = \frac{z}{2} fr \left( 1 - \frac{d}{D} \right).$$

Частота вращения тела качения вокруг собственной оси (BSF) выражается формулой:

$$f_{BSF} = \frac{D}{2d} fr \left( 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^2 \right),$$

которая следует из условий чистого качения между внутренней и наружной дорожками. Частота вращения сепаратора (FTF) определяется выражением:

$$f_{FTF} = \frac{1}{2} fr \left( 1 - \frac{d}{D} \right),$$

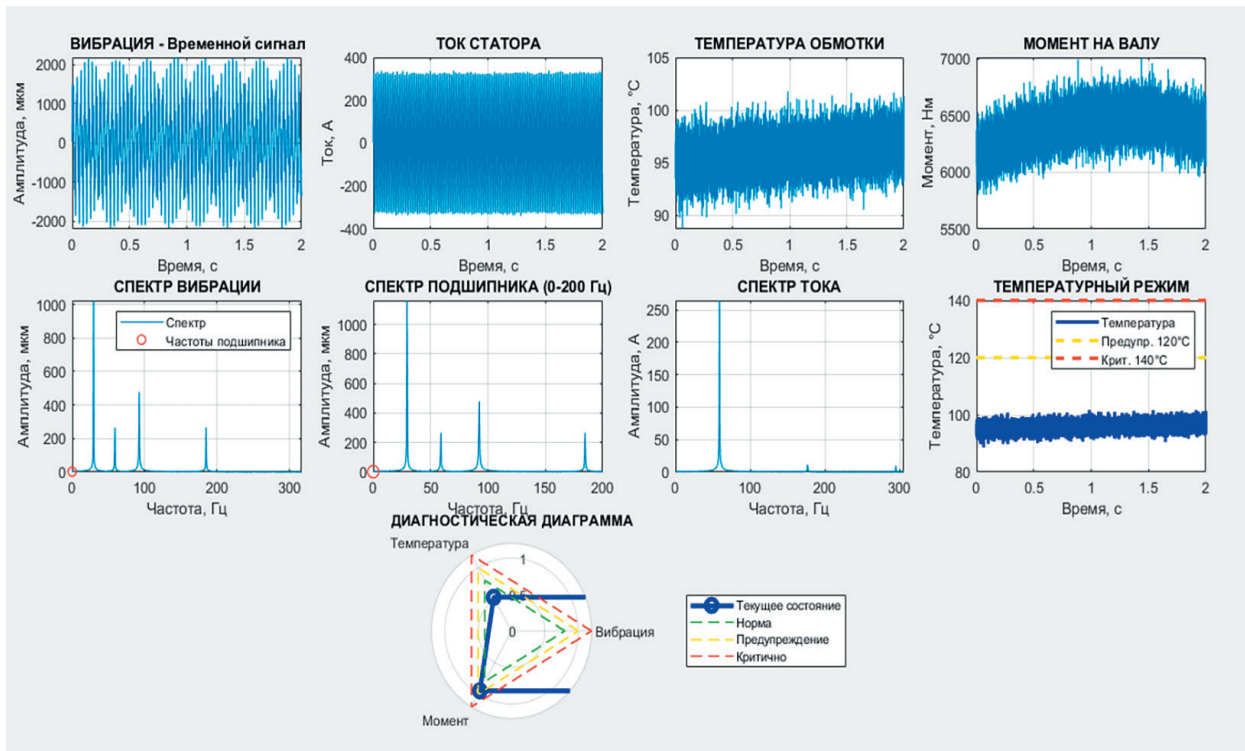


Рис. 3. Результаты моделирования

вытекающим из соотношений скоростей вращения кольца и элементов удерживающего устройства подшипника.

Для анализа вибрационного состояния двигателя формируется модельный вибросигнал, представляющий собой суперпозицию гармонических составляющих, соответствующих частоте вращения ротора, ее гармоникам, а также характерным частотам подшипников. Такое разложение основано на теореме Фурье, согласно которой любой периодический процесс может быть представлен в виде суммы синусоидальных компонент с различной частотой и амплитудой. Ток статора моделируется как совокупность основной гармоники питающей частоты и высших гармоник, отражающих электромагнитные неравномерности. Температура и момент задаются как квазистационарные процессы с низкочастотным колебательным компонентом.

Для частотного анализа вибросигнала применяется дискретное преобразование Фурье:

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] e^{-j 2\pi \frac{kn}{N}},$$

где  $x[n]$  — дискретный сигнал,  $(N)$  — число отсчетов.

Амплитудный спектр определяется по модулю преобразования и нормируется на длину выборки. Односторонний спектр формируется с учетом того, что для вещественных сигналов положительные и отрицательные частоты имеют одинаковую амплитуду.

В процессе анализа вычисляются статистические характеристики вибрации. Среднеквадратическое значение определяется зависимостью:

$$x_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^N x_i^2},$$

являющейся энергетически эквивалентной оценкой уровня вибрации. Пиковое значение рассчитывается как

$$x_{\text{peak}} = \max |x(t)|,$$

а фактор амплитуды определяется отношением

$$CF = \frac{x_{\text{peak}}}{x_{RMS}},$$

что позволяет выявлять наличие ударных процессов в механической системе. Коэффициент эксцесса рассчитывается по четвертому моменту распределения и отражает степень отклонения вибрационного сигнала от нормального распределения.

Для оценки механической нагрузки анализируются колебания момента, которые вычисляются по формуле:

$$\Delta M = \frac{M_{\text{max}} - M_{\text{min}}}{\bar{M}} \cdot 100\%.$$

Температурный режим анализируется на основании сравнения средней температуры обмоток с установленными порогами предупреждения и перегрева.

Каждый диагностический показатель нормируется на соответствующее граничное значение. Индекс вибрации определяется как максимальное значение из отношения  $RMS$ , амплитуды характерных частот и фактора амплитуды к их допускаемым уровням:

$$I_{\text{vib}} = \max \left( \frac{\text{frac}x_{RMS}}{x_{\text{лим}}}, \frac{\text{frac}BPFO}{A_{BPFO, \text{лим}}}, \frac{\text{frac}CF}{CF_{\text{лим}}} \right).$$

Температурный индекс имеет вид:

$$I_{\text{temp}} = \frac{\bar{T}}{T_{\text{пред}}},$$

а индекс механической нагрузки определяется выражением:

$$I_{\text{torque}} = \frac{\Delta M}{\Delta M_{\text{лим}}}.$$

Общий диагностический индекс представляет собой взвешенную сумму нормированных индексов:

$$I_{\text{tot}} = w_1 I_{\text{vib}} + w_2 I_{\text{temp}} + w_3 I_{\text{torque}},$$

где  $(w_1)$ ,  $(w_2)$ ,  $(w_3)$  — коэффициенты, характеризующие значимость каждого диагностического направления. Значение интегрального индекса используется для классификации технического состояния двигателя по установленным порогам: нормальное, предупреждающее, предаварийное и аварийное.

### Интерпретация результатов

#### моделирования и визуализации

Разработанный программный код в среде MATLAB реализует комплексную модель диагностического анализа тягового двигателя электровоза ЭП21 ДТА-1200А на основе синтезированных сигналов вибрации, тока, температуры и электромагнитного момента. Моделирование направлено на демонстрацию принципов выявления дефектов подшипников и оценки общего технического состояния двигателя.

На первом этапе формируются временные реализации диагностических сигналов. График вибрации отражает наличие периодических составляющих, обусловленных частотой вращения ротора и характерными частотами дефекта подшипника, что моделирует повреждение внешнего кольца. Временные диаграммы тока, температуры и момента используются для оценки электромагнитных и тепловых режимов работы двигателя.

Спектр вибрационного сигнала, полученный с помощью быстрого преобразования Фурье, позволяет выявить пики на характерных частотах подшипника (BPFO, BPFI, BSF, FTF). Наличие выраженных амплитуд на этих

частотах служит диагностическим признаком дефектов элементов подшипникового узла. Увеличенный фрагмент спектра в диапазоне низких частот обеспечивает более точную визуализацию данных гармоник.

Дополнительно вычисляются количественные диагностические признаки вибрации: среднеквадратичное значение, пиковая амплитуда, фактор амплитуды и эксцесс. Превышение ими установленных пороговых значений используется для автоматической классификации состояния подшипника.

Спектральный анализ тока статора позволяет выявлять косвенные признаки механических дефектов, проявляющиеся в изменении гармонического состава электрического сигнала. Температурный график с нанесенными порогами предупреждения и аварийного состояния демонстрирует возможность тепловой диагностики двигателя в динамике.

Итоговая полярная диагностическая диаграмма представляет собой интегральную визуализацию нормированных индексов вибрационного, теплового и моментного состояния. Расположение кривой относительно зон «норма», «предупреждение» и «критично» позволяет наглядно оценить текущее техническое состояние двигателя и принять обоснованное решение о необходимости обслуживания или ремонта.

Таким образом, представленная программная реализация демонстрирует возможность комплексной диагностики тягового двигателя с использованием методов вибрационного, электрического и теплового анализа и может служить основой для разработки систем интеллектуального мониторинга подвижного состава.

Результаты анализа визуализируются в виде полярной диаграммы, отражающей относительный вклад каждого диагностического

показателя, и сохраняются в виде отчетного файла. Реализованная математическая модель обеспечивает комплексную оценку состояния тягового двигателя и может применяться в системах технического диагностирования и мониторинга его работы.

Код открывает возможности перехода от планово-предупредительного ремонта к диагностическому обслуживанию, что значительно повышает безопасность эксплуатации и снижает затраты на содержание подвижного состава.

### **Заключение**

Переход к диагностическому (условно-техническому) обслуживанию двигательных узлов поездов Push-Pull позволяет повысить безопасность, снизить внеплановые ремонты и оптимизировать эксплуатационные расходы. Для практической реализации важны накопление достоверных данных, адаптация алгоритмов под эксплуатационные условия и интеграция с системами управления железнодорожным движением.

### **Список источников**

1. Об основных направлениях развития экологически чистого тягового подвижного состава / М.Ю. Обухов [и др.] // Электроника и электрооборудование транспорта. 2021. № 2. С. 32–35.
2. Обухов М.Ю., Чикиркин О.В., Елин Д.А. Развитие железнодорожных пассажирских перевозок за счет применения технологии Push-Pull // Локомотив. 2025. № 4. С. 2–5.
3. Обухов М.Ю., Чикиркин О.В., Елин Д.А. Технология Push-Pull для России: актуальные решения // Вестник Института проблем естественных монополий: техника железных дорог. 2025. №2 (70). С. 30–35.
4. Зеленченко А.П., Федоров Д.В. Диагностические комплексы электрического подвижного состава.

М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2014. 112 с.

5. Воробьев А.А., Горский Л.В. Оптимизация системы ремонта локомотивов, М.: Транспорт, 1994. 208 с.

6. Гиоев З.Г. Основы виброакустической диагностики электромеханических систем локомотивов: монография. Владикавказ: РУХС, 2007. 278 с.

7. Сапожников В.В. Основы технической диагностики: учебное пособие для студентов вузов ж. д. транспорта. М.: Маршрут, 2004. 318 с.

8. Лепихова В.А., Ляшенко Н.В. Алгоритмизация для виброакустической диагностики механических узлов тяговых двигателей // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2023. № 2 (218). С. 112–115.

9. Безбородов, Ю.Я., Серегин В.А., Харламов В. В. Виброакустическая диагностика дефектов подшипникового узла тяговых двигателей // Современные тенденции в развитии и конструировании коллекторных машин постоянного тока (Омск, 01–04 июня 1993 года). Омск: Омский институт инженеров железнодорожного транспорта, 1993. С. 88–89.

10. Пономарев И.С., Зеленченко А.П., Евстафьев А.М. Развитие методов диагностики асинхронного тягового электропривода, применяемого на высокоскоростном подвижном составе // II Международная научная конференция «Железная дорога: путь в будущее»: сборник материалов аспирантов и молодых ученых к 80-летию аспирантуры и научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразования» АО «ВНИИЖТ» (Москва, 18 апреля 2024 г.). М.: Инфра-М, 2024. С. 128–133.

Дата поступления: 13.03.2026

Решение о публикации: 01.05.2026

#### Контактная информация:

ПОНОМАРЕВ Илья Сергеевич — аспирант, ведущий инженер; [iliy-ponomarev@mail.ru](mailto:iliy-ponomarev@mail.ru)

ОБУХОВ Михаил Юрьевич — начальник отдела новой техники Технической службы;

[ObuhovMY@center.rzd.ru](mailto:ObuhovMY@center.rzd.ru)

ЕЛИН Дмитрий Александрович — аспирант, инженер; [i@dimaelin.ru](mailto:i@dimaelin.ru)

ЕВСТАФЬЕВ Андрей Михайлович — доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрическая тяга»; [elt@pgups.ru](mailto:elt@pgups.ru)

## Diagnostics of Traction Electric Motor Units of High-Speed Push-Pull Trains on the Russian Railway

I. S. Ponomarev<sup>1</sup>, M. Yu. Obukhov<sup>2</sup>, D. A. Elin<sup>1</sup>, A. M. Evstaf'ev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Imperator Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky ave., Saint Petersburg, 190031, Russia

<sup>2</sup>Traction Directorate — branch of JSC Russian Railways, letter A, build. 4, 6 Basmanny tupik, Moscow, 105064, Russia

**For citation:** Ponomarev I. S., Obukhov M. Yu., Elin D. A., Evstaf'ev A. M. Diagnostics of Traction Electric Motor Units of High-Speed Push-Pull Trains on the Russian Railway // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026, iss. 2, pp. 315–325. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-2-315-325 (In Russian)

## Abstract

**The objective** of the study is to develop and validate a methodology for quickly assessing the technical condition of a traction motor and critical components, which forms the foundation for the transition from traditional scheduled preventive maintenance to modern predictive maintenance. This enables a shift from scheduled intervals to condition-based maintenance. As part of the study, a comprehensive MATLAB-based simulation model was created for the EP21-DTA-1200A electric locomotive motor used in push-pull trains. The model implements key diagnostic **methods**: vibration analysis to identify mechanical defects (specifically, SKF series bearings), thermal monitoring to prevent overheating, and stator current harmonic analysis for the early detection of electrical faults. To demonstrate the system's operation, the model includes a scenario simulating a bearing outer ring defect, characterized by an increase in vibration amplitude at the characteristic BPFO frequency. **The main result** is the proposed architecture of an integrated diagnostic system, including data collection, signal processing, analytics, and decision-making layers. An algorithm based on weighted indices generates specific recommendations, ranging from continued operation to immediate shutdown. **The practical significance** of this work lies in the fact that implementing this methodology on the Russian railway network will improve the reliability and safety of high-speed rolling stock, reduce the cost of unscheduled repairs, and optimize maintenance logistics by moving it to a predictive basis.

**Keywords:** diagnostics, high-speed train, push-pull, propulsion system, engine components, monitoring

## References

1. Obukhov M. Yu., et al. Ob osnovnykh napravleniyakh razvitiya ekologicheskogo chistogo tyagovogo podvizhnogo sostava [On the Main Directions for the Development of Environmentally Friendly Traction Rolling Stock], *Elektronika i elektrooborudovanie transporta [Electronics and Electrical Equipment of Transport]*, 2021, no. 2, pp. 32–35. (In Russian)
2. Obukhov M. Yu., et al. Razvitie zheleznodorozhnykh passazhirskikh perevozok za schet primeneniya tekhnologii Push-Pull [Development of Rail Passenger Transportation Through the Application of Push-Pull Technology], *Lokomotiv*, 2025, no. 4, pp. 2–5. (In Russian)
3. Obukhov M. Yu., et al. Tekhnologiya Push-Pull dlya Rossii: aktual'nye resheniya [Push-Pull Technology for Russia: Current Solutions], *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopolij: tekhnika zheleznykh dorog [Railway Equipment]*, 2025, no. 2 (70), pp. 30–35. (In Russian)
4. Zelenchenko A. P., Fedorov D. V. Diagnosticheskie komplekсы elektricheskogo podvizhnogo sostava [Diagnostic Systems for Electric Rolling Stock], Moscow, FGBOU “Uchebno-metodicheskij tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte” [Federal State Budgetary Educational Institution “Educational and Methodological Center for Education in Railway Transport”], 2014, 112 p. (In Russian)
5. Vorob'ev A. A., Gorskiy L. V. Optimizatsiya sistemy remonta lokomotivov [Optimization of the Locomotive Repair System], Moscow, Transport, 1994, 208 p. (In Russian)
6. Gioev Z. G. Osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki elektromekhanicheskikh sistem lokomotivov: monografiya [Fundamentals of Vibroacoustic Diagnostics of Electromechanical Systems of Locomotives: A Monograph], Vladikavkaz, RUHS, 2007, 278 p. (In Russian)
7. Sapozhnikov V. V. Osnovy tekhnicheskoy diagnostiki: uchebnoe posobie dlya studentov vuzov zh.-d. transporta [Fundamentals of Technical Diagnostics: a Textbook for Students of Higher Education Institutions of Railway Transport], Moscow, Marshrut [Route], 2004, 318 p. (In Russian)
8. Lepikhova V. A., Lyashenko N. V. Algoritmizatsiya dlya vibroakusticheskoy diagnostiki mekhanicheskikh uzlov tyagovykh dvigatelej [Algorithmization for Vibroacoustic Diagnostics of Mechanical Units of Traction Motors], *Izvestiya vysshikh uchebnykh*

*zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Tekhnicheskie nauki [Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Technical Sciences], 2023, no. 2 (218), pp. 112–115. (In Russian)*

9. Bezborodov Yu. Ya., et al. Vibroakusticheskaya diagnostika defektov podshipnikovogo uzla tyagovykh dvigatelej [Vibroacoustic Diagnostics of Defects in the Bearing Unit of Traction Motors], *Sovremennye tendentsii v razvitii i konstruirovanii kollektornykh mashin postoyannogo toka [Modern Trends in the Development and Design of DC Commutator Machines]*, Omsk, June 1–4, 1993, Omsk Institute of Railway Engineers, 1993, pp. 88–89. (In Russian)

10. Ponomarev I.S., et al. Razvitie metodov diagnostiki asinkhronnogo tyagovogo elektroprivoda, primenyaemogo na vysokoskorostnom podvizhnom sostave [Development of Diagnostic Methods for an Asynchronous Traction Electric Drive Used on High-Speed Rolling Stock], II International Scientific Conference “Railway: The Path to the Future”: Collection of materials from graduate students and

young scientists for the 80th anniversary of the graduate school and scientific center “Economics of Complex Projects and Tariff Formation” of JSC VNIIZhT, Moscow, April 18, 2024, Moscow, Scientific Publishing Center Infra-M, 2024, pp. 128–133. (In Russian)

Received: March 13, 2026

Accepted: May 01, 2026

**Autor’s information:**

Ilya S. PONOMAREV — Graduate Student,

Lead Engineer; [iliy-ponomarev@mail.ru](mailto:iliy-ponomarev@mail.ru)

Mikhail Yu. OBUKHOV — Head of the New

Equipment Department of the Technical Service;

[ObuhovMY@center.rzd.ru](mailto:ObuhovMY@center.rzd.ru)

Dmitry A. ELIN — Graduate Student, Engineer;

[i@dimaelin.ru](mailto:i@dimaelin.ru)

Andrey M. EVSTAF’EV — Dr. Sci.

in Engineering, Professor, Head of the Department of Electric Traction;

[elt@pgups.ru](mailto:elt@pgups.ru)