

*И. А. Майба, А. М. Ананко, И. И. Майба*

## **АНАЛИЗ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ АКТИВАЦИИ ТРЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОВОЗАХ СЕРИИ ЗЭС5К**

**Аннотация.** Представлены результаты анализа режимов функционирования системы активации трения (УАТЛ), установленной на электровозах серии ЗЭС5К, по данным подконтрольной эксплуатации на Восточном полигоне. Исследование выполнено на основе расшифровки файлов микропроцессорных систем управления локомотивом (МСУД) за 2025 год и охватывает 2 629 поездов, выполненных 11 электровозами. Проведена сравнительная оценка режимов работы локомотивов с включённой и отключённой системой УАТЛ с использованием удельных эксплуатационных показателей. Установлено, что при технической исправности оборудования фактическое использование УАТЛ носит неравномерный характер и в значительной степени определяется человеческим и организационным фактором. Показано, что система УАТЛ преимущественно работает в автоматических режимах и обладает высоким потенциалом для снижения нагрузки на систему пескоподачи и локомотивную бригаду. Сделан вывод о необходимости внедрения регламентированных подходов к использованию УАТЛ для повышения эффективности эксплуатации локомотивного парка.

**Ключевые слова:** устройство активации трения, локомотив ЗЭС5К, тягово-сцепные свойства, эксплуатационные показатели, пескоподача, подконтрольная эксплуатация, человеческий фактор, энергоэффективность.

**Для цитирования:** Майба, И. А. Анализ режимов функционирования системы активации трения на электровозах серии ЗЭС5К / И. А. Майба, А. М. Ананко, И. И. Майба // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2026. – № 1. – С. 203–208. – DOI 10.46973/0201-727X\_2026\_1\_203.

### **Введение**

Одним из факторов, ограничивающих устойчивость перевозочного процесса при эксплуатации тяжеловесных поездов, является необходимость внеплановых заходов локомотивов на экипировку песком между плановыми техническими обслуживаниями в объёме ТО-2. Указанные технологические операции приводят к выводу локомотивов из кольца обращения, увеличению простоев и снижению эффективности использования локомотивного парка [5, 6].

Одним из направлений решения данной задачи является применение систем активации трения колёс локомотивов, обеспечивающих повышение коэффициента сцепления без интенсивного использования пескоподачи. Использование таких систем позволяет стабилизировать реализацию тяговых усилий, снизить нагрузку на систему пескоподачи и сократить влияние человеческого фактора при управлении локомотивом [4, 6, 7].

Среди отечественных разработок наиболее перспективным является инновационный проект (ООО «ТрансИнТех»), в рамках которого специалистами при участии научных организаций (ФГБОУ ВО РГУПС и ФГБОУ ВО ПГУПС) и промышленного предприятия (ООО ПК «НЭВЗ») было разработано устройство активации трения локомотивов (УАТЛ), ориентированное на повышение тягово-сцепных свойств локомотивов и снижение эксплуатационных затрат [1, 9, 10].

В настоящей работе рассматриваются результаты анализа эксплуатационной работы электровозов серии ЗЭС5К, оборудованных устройством активации трения локомотивов (УАТЛ), в условиях грузового движения на Восточном полигоне.

### **Материалы и методы исследований**

Исследование выполнено на основе анализа объективных данных МСУД, полученных в процессе подконтрольной эксплуатации электровозов серии ЗЭС5К в 2025 году.

Сравнительный анализ проведён для одних и тех же локомотивов при работе с включённой и отключённой системой УАТЛ в идентичных условиях эксплуатации на одном полигоне. Для исключения влияния различий в интенсивности работы локомотивов все показатели приведены к удельным значениям на 1 000 км пробега. Применяемая методика сопоставима с ранее опубликованными исследованиями по оценке тягово-энергетических характеристик электровозов серии ЗЭС5К [2].

Формирование выборки осуществлялось с применением процедуры фильтрации, направленной на исключение поездок с некорректными или неполными данными, что обеспечило сопоставимость и репрезентативность анализируемых массивов.

#### **Цель и задачи исследований**

На основании объективных данных МСУД требовалось провести сравнительную оценку особенностей функционирования и фактического использования системы УАТЛ. При этом следовало определить степень использования системы УАТЛ локомотивными бригадами и дать оценку влияния УАТЛ на работу системы пескоподачи.

#### **Объём и формирование выборки данных**

Первичной базой для анализа послужили данные о 3 068 поездках, выполненных 11 локомотивами серии ЗЭС5К, оборудованными УАТЛ, в период до 14.12.2025 г. Для обеспечения корректности и сравнимости результатов была проведена процедура фильтрации данных, в ходе которой исключено 439 поездок по следующим причинам:

- поездки, совершенные в 2024 году, – 55 поездок;
- спаренные поезда (не позволяющие однозначно определить ответственный локомотив и режим работы системы УАТЛ) – 192 поездки;
- отсутствие данных о пройденном расстоянии – 9 поездок;
- отсутствие однозначной информации о режиме работы системы УАТЛ (ВКЛ / ВЫКЛ / ВКЛ) в рамках поездки – 98 поездок;
- ошибки в данных по расходу электроэнергии (противоречивые) или нулевые показания приборов учёта) – 83 поездки;
- отсутствие заполненных режимов работы – 2 поездки.

Таким образом, итоговая репрезентативная выборка для проведения сравнительного анализа составила 2 629 поездок, распределённых следующим образом:

- 883 поездки с включенной системой УАТЛ (режим «УАТЛ – ВКЛ»);
- 1 746 поездок с выключенной системой УАТЛ (режим «УАТЛ – ВЫКЛ»).

В табл. 1 представлено распределение по весовым категориям поездов.

Таблица 1

**Распределение поездок по весовым категориям поездов**

№ п/п	Режим работы УАТЛ	Количество поездок с весом поезда			Всего, шт.
		До 4 000 т	4 000–6 000 т	6 000–7 100 т	
1	УАТЛ ВКЛ	98 поездок	86 поездок	699 поездок	883 поездки
2	УАТЛ ВЫКЛ	236 поездок	166 поездок	1 344 поездки	1 746 поездок
<i>Итого</i>		334 поездки	252 поездки	2 043 поездки	2 629 поездок

Данное распределение демонстрирует, что в анализируемой выборке преобладают поезда критической массы (6 000–7 000 т), что характерно для условий эксплуатации на Восточном полигоне и позволяет наиболее объективно оценить работу системы УАТЛ в нагруженных режимах.

Детализация по локомотивам серии ЗЭС5К, оборудованным УАТЛ:

- № 1147 – 209 поездок (104 с УАТЛ);
- № 1445 – 208 поездок (82 с УАТЛ);
- № 1446 – 241 поездка (58 с УАТЛ);
- № 1447 – 282 поездки (64 с УАТЛ);
- № 1448 – 290 поездок (116 с УАТЛ);
- № 1449 – 282 поездки (118 с УАТЛ);
- № 1450 – 231 поездка (62 с УАТЛ);
- № 1451 – 217 поездок (76 с УАТЛ);
- № 1452 – 287 поездок (33 с УАТЛ);
- № 1453 – 177 поездок (46 с УАТЛ);
- № 1454 – 205 поездок (124 с УАТЛ).

#### **Результаты исследований**

В течение 2025 года 11 электровозов серии ЗЭС5К выполнили 2 629 поездок, из которых в 883 поездках (33,6 %) система УАТЛ находилась во включённом состоянии. В оставшихся 1 746 поездках

система УАТЛ не использовалась при наличии технической возможности её применения.

Полученные результаты по режимам работы системы УАТЛ и эксплуатационным характеристикам электровозов серии ЗЭС5К согласуются с ранее опубликованными экспериментальными исследованиями, посвящёнными влиянию активации трения на тягово-сцепные свойства колес локомотивов и энергетические показатели движения [2, 3].

В табл. 2 приведена общая статистика использования системы УАТЛ.

Таблица 2

Общая статистика использования системы УАТЛ

№ п/п	Показатель	С УАТЛ	Без УАТЛ	Соотношение (без УАТЛ / с УАТЛ)	Вывод
1	Общее количество поездок, шт.	883	1 746	≈ в 2,0 раза больше	Локомотивы без УАТЛ совершили вдвое больше поездок
2	Общий вес перевезённого груза, т	5 600 750	10 882 360	≈ в 1,94 раза больше	Соответствует увеличению поездок
3	Общий пробег, км	225 342	447 510	≈ в 1,98 раза больше	Пробег также почти вдвое больше

Более детальный анализ по каждому локомотиву выявляет значительную диспропорцию в применении системы разными локомотивными бригадами. Для наглядности разделим локомотивы на три группы по проценту поездок с УАТЛ от общего числа их рейсов.

*Группа 1.* Локомотивы с высоким использованием УАТЛ (> 45 % поездок):  
 локомотив № 1454 – 124 поездки с УАТЛ из 205 общего количества (60,5 %);  
 локомотив № 1147 – 104 поездки с УАТЛ из 209 общего количества (49,8 %).

Вывод: данные примеры подтверждают, что система может быть основным, а не резервным инструментом.

*Группа 2.* Локомотивы со средним использованием УАТЛ (30–45 %):  
 локомотив № 1449 – 118 поездок с УАТЛ из 282 общего количества (41,8 %);  
 локомотив № 1448 – 116 поездок с УАТЛ из 290 общего количества (40,0 %);  
 локомотив № 1445 – 82 поездки с УАТЛ из 208 общего количества (39,4 %).

Вывод: использование системы носит периодический или ситуационный характер.

*Группа 3.* Локомотивы с низким использованием УАТЛ (< 30 %):  
 локомотив № 1452 – 33 поездки с УАТЛ из 287 общего количества (11,5 % – антирекорд);  
 локомотив № 1447 – 64 поездки с УАТЛ из 282 общего количества (22,7 %);  
 локомотив № 1446 – 58 поездок с УАТЛ из 241 общего количества (24,1 %);  
 локомотив № 1453 – 46 поездок с УАТЛ из 177 общего количества (26,0 %);  
 локомотив № 1450 – 62 поездки с УАТЛ из 231 общего количества (26,8 %).

Вывод: технически исправная система регулярно не используется, что указывает на преобладание человеческого фактора.

*Конкретные примеры на основе полученных данных*

Пример эффективного использования: локомотив № 1454 является флагманом внедрения.

За год он совершил 124 поездки с УАТЛ, в которых система проработала в автоматических режимах суммарно 109 849 с (~30 ч). При этом его пробег в режиме с УАТЛ составил 33 259 км.

Пример неэффективного использования: локомотив № 1452 демонстрирует обратную картину. При общем пробеге в 71 621 км (максимальный из всех) система УАТЛ использовалась лишь в 33 поездках (11,5 %). Время её работы составило лишь 22 616 с (~6,3 ч), что в 4,7 раза меньше, чем у локомотива № 1454, несмотря на практически сопоставимый удельный пробег, приходящийся на одну поездку. Показательный контраст: сравнение локомотивов № 1449 и № 1447 с близким общим количеством поездок (по 282 шт.). На локомотиве № 1449 УАТЛ использовалась в 118 поездках (41,8 %), а на № 1447 – только в 64 (22,7 %). Разница почти в два раза при идентичных условиях работы парка.

Анализ режимов функционирования системы показал доминирование автоматических режимов работы (А1-А3) и минимальную долю ручного управления со стороны локомотивной бригады. Данный результат

соответствует современным представлениям о трибологических процессах в зоне контакта «колесо – рельс» и их влиянии на эксплуатационную надёжность и ресурс элементов подвижного состава [3, 4, 8].

#### *Распределение работы по режимам*

Режим А3 (автоматическое устранение буксования) – самый часто используемый. Например, у локомотива № 1454 на него пришлось 64 940 с из 109 849 общих (более 59 %). Автоматические режимы (А1, А2, А3) являются абсолютно доминирующими.

Режимы А1/А2 (автоматическое предупреждение буксования) активно использовались на локомотивах, где бригады доверяли системе. Например, локомотивы № 1454, 1449, 1451 и 1147 использовали А1 и А2 режимы суммарно по 42 898, 42 199, 39 060 и 31 530 с соответственно.

Ручной режим (Р2) применялся минимально. Его доля в общем времени работы УАТЛ по всем локомотивам составляет менее 2 %. Это свидетельствует о высокой степени автономности и надёжности системы.

Например, у локомотива № 1445 при 82 поездках с УАТЛ ручной режим использовался всего 1 115 с (~18,5 мин), что свидетельствует о редкой необходимости вмешательства машиниста в работу системы.

#### *Пример работы локомотива № 1147*

Общее время работы УАТЛ

$$7\,791\text{ с (А1)} + 23\,739\text{ с (А2)} + 35\,380\text{ с (А3)} + 586\text{ с (Р2)} = 67\,496\text{ с.}$$

Доля автоматических режимов

$$(7\,791\text{ с} + 23\,739\text{ с} + 35\,380\text{ с}) / 67\,496\text{ с} \times 100\% \approx 99,1\%.$$

Доля ручного режима

$$586\text{ с} / 67\,496\text{ с} \times 100\% \approx 0,9\%.$$

Разброс доли поездок с включённой системой УАТЛ по отдельным локомотивам (от 11,5 % до 60,5 %) свидетельствует об отсутствии единых регламентированных подходов к использованию системы в процессе эксплуатации. Результаты исследования указывают на существенное влияние организационных и человеческих факторов на степень реализации потенциала УАТЛ [5].

Полученные данные носят статистически устойчивый характер и отражают типичную практику эксплуатации системы УАТЛ на Восточном полигоне.

#### **Заключение**

Исследование, выполненное на основе данных микропроцессорных систем управления локомотивом (МСУД), позволило провести анализ режимов функционирования системы активации трения локомотивов (УАТЛ) в условиях эксплуатации на Восточном полигоне.

Установлено, что система УАТЛ функционирует преимущественно в автоматических режимах и характеризуется высокой степенью автономности, что подтверждает её техническую зрелость и работоспособность.

Выявлена существенная неравномерность использования системы УАТЛ между локомотивами при сопоставимых условиях эксплуатации. Разброс доли поездок с включённой системой от 11,5 до 60,5 % указывает на определяющее влияние организационного и человеческого факторов.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что потенциал системы УАТЛ в текущих условиях эксплуатации реализуется не полностью вследствие отсутствия единых регламентированных подходов к её применению.

Практическая значимость работы заключается в обосновании необходимости разработки и внедрения регламентов использования системы УАТЛ, направленных на повышение эффективности её применения в эксплуатации локомотивного парка.

#### **Список литературы**

1 **Майба, И. А.** Разработка систем активации трения локомотивов / И. А. Майба, А. Л. Выщепан, А. М. Ананко // Научные основы и технологии повышения ресурса и живучести подвижного состава железнодорожного транспорта :

#### **References**

1 **Maiba, I. A.** Development of friction activation systems for locomotives / I. A. Maiba, A. L. Vyshchepan, A. M. Ananko // Scientific foundations and technologies for increasing the service

сборник трудов международной научной конференции. – Коломна, 2021. – С. 228–232.

2 **Майба, И. А.** Сравнительные тягово-энергетические испытания локомотивов серии 3ЭС5К / И. А. Майба, И. И. Майба // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2025. – № 3 (99). – С. 117–124. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_3\_117.

3 **Майба, И. А.** Исследование влияния активации трения на тягово-цепные свойства колес локомотивов / И. А. Майба, Д. В. Глазунов, И. И. Майба // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2024. – № 4. – С. 55–60. – DOI 10.1134/S1052618824701401.

4 **Майба, И. А.** Фрикционные материалы специального назначения для зоны контакта «колесо – рельс»: монография / И. А. Майба, Д. В. Глазунов, А. М. Ананко. – Ростов-на-Дону, 2017. – 123 с. – ISBN 978-5-88814-523-4.

5 **Валинский, О. С.** Повышение эффективности использования тягового подвижного состава / О. С. Валинский // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 3. – С. 24–27. – ISSN 0044-4448.

6 **Лужнов, Ю. М.** Управление фрикционным взаимодействием колес подвижного состава с рельсами – резерв снижения себестоимости перевозочной работы / Ю. М. Лужнов, А. Т. Романова // Инновационная экономика: информация, аналитика, прогнозы. – 2016. – № 3. – С. 11–15. – ISSN 2411-9520.

7 **Валинский, О. С.** Улучшение тяговых характеристик электровозов за счёт повышения коэффициента сцепления «колеса и рельса»: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / О. С. Валинский. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2022. – 131 с.

8 **Воробьев, А. А.** Прогнозирование ресурса и совершенствование технологии ремонта колес железнодорожного подвижного состава: специальность 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / А. А. Воробьев. – Санкт-Петербург: ПГУПС, 2018. – 289 с.

9 Обоснование технических требований к активаторам трения в зоне контакта «колесо – рельс» / И. А. Майба, А. М. Ананко, А. С. Бекетов, М. И. Никитина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 1 (65). – С. 54–61. – ISSN 0201-727X.

10 **Патент № 2721993 Российская Федерация.** Устройство активации трения и активатор

life and survivability of railway rolling stock: collection of papers of the international scientific conference. – Kolomna, 2021. – P. 228–232.

2 **Maiba, I. A.** Comparative traction and energy tests of 3ES5K series locomotives / I. A. Maiba, I. I. Maiba // Trudy of the Rostov State Transport University. – 2025. – No. 3 (99). – P. 117–124. – DOI 10.46973/0201-727X\_2025\_3\_117.

3 **Maiba, I. A.** Study of the influence of friction activation on the traction and adhesion properties of locomotive wheels / I. A. Maiba, D. V. Glazunov, I. I. Maiba // Problems of mechanical engineering and automation. – 2024. – No. 4. – P. 55–60. – DOI 10.1134/S1052618824701401.

4 **Maiba, I. A.** Special-purpose friction materials for the wheel-rail contact zone: monograph / I. A. Maiba, D. V. Glazunov, A. M. Ananko. – Rostov-on-Don: Rostov State Transport University, 2017. – 123 p. – ISBN 978-5-88814-523-4.

5 **Valinsky, O. S.** Improving the efficiency of traction rolling stock use / O. S. Valinsky // Railway transport. – 2022. – No. 3. – P. 24–27. – ISSN 0044-4448.

6 **Luzhnov, Yu. M.** Control of frictional interaction of rolling stock wheels with rails – a reserve for reducing the cost of transportation work / Yu. M. Luzhnov, A. T. Romanova // Innovative economics: information, analytics, forecasts. – 2016. – No. 3. – P. 11–15. – ISSN 2411-9520.

7 **Valinsky, O. S.** Improving the traction characteristics of electric locomotives by increasing the adhesion coefficient of “wheel and rail”: specialty 05.22.07 “Rolling stock of railways, train traction and electrification”: dissertation for the degree of candidate of technical sciences / O. S. Valinsky. – Saint Petersburg: PGUPS, 2022. – 131 p.

8 **Vorobyov, A. A.** Forecasting the resource and improving the repair technology of railway rolling stock wheels: specialty 05.22.07 “Rolling stock of railways, train traction and electrification”: dissertation for the degree of doctor of technical sciences / A. A. Vorobyov. – Saint Petersburg: PGUPS, 2018. – 289 p.

9 Justification of technical requirements for friction activators in the wheel-rail contact zone / I. A. Maiba, A. M. Ananko, A. S. Beketov, M. I. Nikitina // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2017. – No. 1 (65). – P. 54–61. – ISSN 0201-727X.

10 **Patent No. 2721993 Russian Federation.** Friction activator and increased friction activator:

повышенного трения : № 2019117405 : заявл. 04.06.2019 : опубл. 25.05.2020 / О. С. Валинский, А. Л. Выщепан, А. М. Лубягов, И. А. Майба – 10 с.

No. 2019117405 : declared 04.06.2019: published 25.05.2020 / O. S. Valinsky, A. L. Vyshchepan, A. M. Lubyagov, I. A. Maiba – 10 p.

*I. A. Maiba, A. M. Ananko, I. I. Maiba*

### ANALYSIS OF OPERATING MODES OF THE FRICTION ACTIVATION SYSTEM IN 3ES5K ELECTRIC LOCOMOTIVES

**Abstract.** This paper presents the results of an analysis of the operating modes of the locomotive friction activation system (UATL) installed on 3ES5K electric locomotives, based on data obtained from supervised operation on the Eastern railway corridor.

The study is based on decoded data from microprocessor-based locomotive control systems (MSUD) for 2025 and includes 2 629 train trips performed by 11 electric locomotives.

A comparative analysis was carried out for locomotive operating modes with the UATL system switched on and off under similar operating conditions using specific performance indicators. The results show that, despite the technical operability of the system, its actual use is uneven and largely depends on organizational and human factors. It was shown that the UATL system operates primarily in automatic modes and has high potential for reducing the load on the sand delivery system and the locomotive crew.

It was concluded that it is necessary to implement regulated approaches to UATL use to improve the efficiency of locomotive fleet operation.

**Keywords:** locomotive friction activation device; 3ES5K electric locomotive; traction and adhesion properties; operational performance; sand delivery system; supervised operation; human factor; energy efficiency.

**For citation:** Maiba, I. A. Analysis of operating modes of the friction activation system in 3ES5K electric locomotives / I. A. Maiba, A. M. Ananko, I. I. Maiba // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putej Soobshcheniya. – 2026. – No. 1. – P. 203–208. – DOI 10.46973/0201-727X\_2026\_1\_203.

#### Сведения об авторах

##### **Майба Игорь Альбертович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), факультет «Дорожно-строительные машины», доктор технических наук, профессор, декан,  
e-mail: mia@rgups.ru

##### **Ананко Анатолий Михайлович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), лаборатория функциональных покрытий, научно-испытательный центр «Нанотехнологии и трибосистемы» НИЧ, младший научный сотрудник,  
e-mail: nypotilitailla@mail.ru

##### **Майба Илья Игоревич**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС), кафедра «Проектирование и технология производства машин», аспирант,  
e-mail: tmt@rgups.ru

#### Information about the authors

##### **Maiba Igor Albertovich**

Rostov State Transport University (RSTU), Chair “Road Construction Machinery”, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Dean,  
e-mail: mia@rgups.ru

##### **Ananko Anatoly Mikhailovich**

Rostov State Transport University (RSTU), Laboratory of Functional Coatings, Research and Testing Center “Nanotechnologies and Tribosystems”, Research Department Junior Researcher,  
e-mail: nypotilitailla@mail.ru

##### **Mayba Ilya Igorevich**

Rostov State Transport University (RSTU), Chair “Machine design and Production Technology”, Postgraduate Student,  
e-mail: tmt@rgups.ru