УДК 621.31

Применение новых моделей прогнозирования на основе искусственного интеллекта, новых материалов и новых механизмов для совершенствования системы заземления опор

Т. В. Хмельницкая, А. Ю. Сулимин, А. В. Агунов, А. А. Бобров

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

Для цитирования: *Хмельницкая Т. В., Сулимин А. Ю., Агунов А. В., Бобров А. А.* Применение новых моделей прогнозирования на основе искусственного интеллекта, новых материалов и новых механизмов для совершенствования системы заземления опор // Бюллетень результатов научных исследований. 2026. Вып. 3. С. 116–125. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-3-116-125

Аннотация

Цель: совершенствование системы заземления опор контактной сети переменного тока за счет разработки устройства дистанционного контроля состояния искровых промежутков и газоразрядных приборов защиты, а также обоснования применения интеллектуальных ИИ-агентов для обработки диагностических данных и перехода от реактивного к прогнозному обслуживанию. **Методы:** сравнительный анализ существующих методов контроля. Предложено конструктивное решение на основе индикатора короткого замыкания в сочетании с беспилотными летательными аппаратами и средствами интеллектуальной видеоаналитики. **Результаты:** предложенное решение обеспечивает бесконтактную дистанционную диагностику без вывода оборудования из эксплуатации и не требует значительных конструктивных изменений. **Практическая значимость:** непрерывность контроля, раннее выявление скрытых дефектов и деградационных процессов, повышение электробезопасности, оптимизация эксплуатационных затрат и снижение нагрузки на персонал службы электроснабжения.

Ключевые слова: система заземления, дистанционный контроль, индикатор короткого замыкания, цифровой двойник, предиктивное обслуживание

Введение

Обеспечение надежности и безопасности функционирования систем заземления опор контактной сети как новых высокоскоростных магистралей (ВСМ), так и существующих линий неразрывно связано с исправной работой всех устройств защиты, объектов инфраструктуры и средств диагностики. Одними из наиболее актуальных вопросов в настоящее время являются разработка и внедрение малообслуживаемых систем. Важнейшими элементами системы заземления являются искровые промежутки (ИП) и газоразрядные приборы защиты (ГРПЗ), устанавливаемые на заземляющие спуски.

Применяемая в настоящее время система заземления опор контактной сети обладает рядом существенных недостатков: высокими эксплуатационными затратами, низким ресурсом ИП и ГРПЗ, а также отсутствием дистанционного контроля. Сегодня устройства защиты проходят диагностику путем ручного определения параметров и визуального осмотра, что влечет за собой существенные трудозатраты.

При этом снижается точность получаемых измерений, а обнаружение неисправностей нередко происходит с задержкой, что недопустимо для систем, критически важных для безопасности движения.

В связи с этим перспективным направлением совершенствования системы заземления является применение новых материалов, а также использование методов прогнозирования остаточного ресурса и дистанционного контроля. Так, в исследованиях [7, 8] произведена оценка электробезопасности опор контактной сети без изменения свойств бетона в качестве естественного заземлителя. Результаты показали соответствие принятого отказа от заземления опоры на рельс нормативным требованиям при правильном выборе троса группового заземления (ТГЗ). В исследованиях [9, 10] описаны условия электробезопасности при использовании фундаментов опор контактной сети из электропроводящего бетона, при этом исследования подтвердили соответствие такого решения требованиям электробезопасности.

Практическая значимость работы заключается в возможности перехода от реактивного к прогнозному обслуживанию заземляющих устройств, сокращении трудозатрат персонала службы электроснабжения, повышении электробезопасности и оперативности ликвидации аварийных ситуаций. Целью настоящей работы является разработка устройства дистанционного контроля состояния ИП и ГРПЗ, а также обоснование применения интеллектуальных ИИ-агентов для обработки диагностических данных в интересах построения инфраструктуры цифровой железной дороги нового поколения.

Существующие подходы к контролю состояния элементов системы заземления

В рабочем режиме исковой промежуток устанавливается в разрыв заземляющего спуска, обеспечивая электрическую изоляцию опоры от рельсовой сети.

В настоящее время исправность ИП определяется с помощью вольтметра или специализированного прибора ПК-2, шкала которого проградуирована в диапазоне 20–100 В. Методика проверки состоит в следующем: при прохождении электроподвижного состава (ЭПС) на ИП подается потенциал рельса, вызванный тяговым током. Если ИП исправен, то стрелка прибора отклоняется. Отсутствие отклонения свидетельствует о пробое (коротком замыкании) ИП и требует его немедленной замены. Все данные о проверках и заменах фиксируются в журнале учета района контактной сети.

Данный метод обладает рядом недостатков:

1. Проверка возможна только в момент прохождения ЭПС, что при больших межпоездных интервалах существенно затягивает процесс диагностики.

2. Штатный потенциал рельса (до 100 В) значительно ниже норматива пробивного напряжения ИП (1500 В), что не позволяет полноценно оценить состояние изоляции.

Для модернизации диагностики ИП и устранения недостатков существующих методов на первом этапе исследования рассматривалась система контроля на основе RFID-технологий. Суть метода заключается в фиксации разрушения метки при пробое ИП: ионизированный газ, проходя через калиброванное отверстие, повреждает RFID-чип, что при последующем считывании определяется как сигнал о неисправности. Данный подход может быть автоматизирован с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных RFID-считывателями.

Конструктивные решения по обеспечению дистанционного контроля

В качестве развития указанного подхода предложено модернизировать метод контроля состояния ИП, заменив RFID-идентификацию на термоиндикаторное окрашивание. При возникновении пробоя и перегреве изолятора покрытие меняет цвет, БПЛА в это время с помощью видеокамер определяет цвет и фиксирует состояние. Применение ГРПЗ в данном контексте нецелесообразно, поскольку устройство рассчитано на многократное, но ограниченное срабатывание, а для оценки его остаточного ресурса важен учет количества циклов срабатывания.

Несмотря на то что ГРПЗ считается более технологичным решением, его ресурс ограничен 12 срабатываниями, а фактический срок службы напрямую зависит от величины тока пробоя. Это создает эксплуатационные сложности, связанные с отсутствием информации о реальном остаточном ресурсе устройства и его работоспособном состоянии (табл. 1).

ТАБЛИЦА 1. Сравнительные параметры ГРПЗ и ИП

Характеристика	ГРПЗ-1У	ИПМ-62
Напряжение пробоя, В	1400–1700	800–1200
Амплитуда тока пробоя, кА	до 9	5–6
Длительность импульса, мс	40	100
Количество срабатываний	не более 12	1
Возможность дистанционной диагностики	отсутствует	отсутствует

Устройство дистанционного контроля работы ГРПЗ

Сегодня контроль состояния заземляющих устройств осуществляется электромонтерами вручную посредством мегаомметра. Для повышения эффективности эксплуатации данных систем целесообразно внедрение дистанционной диагностики, обеспечивающей оперативное оповещение о неисправностях. Автоматизация процесса позволит оптимизировать трудозатраты персонала и минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций. В качестве перспективного решения

предлагается использование комплекса, состоящего из роторных индикаторов короткого замыкания (ИКЗ) и БПЛА.

Поскольку выход из строя ИП или ГРПЗ связан с протеканием электрического тока, предлагается интегрировать ИКЗ непосредственно в стержень спуска коммутационного оборудования. В случае повреждения заземляющего устройства ИКЗ зафиксирует прохождение тока, при этом роторный индикатор сменит цвет с зеленого на красный, сигнализируя о критическом состоянии ИП или ГРПЗ и необходимости их замены. Технические характеристики предлагаемого ИКЗ представлены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Технические характеристики ИКЗ

Характеристика	Значение
Ток срабатывания	Варьируется в зависимости от рода тока
Время срабатывания	0,1 с
Температурный диапазон	–40…+85 °C
Возобновление работы	Вручную, изолированной штангой
Материал	Хомут — сталь, корпус — полиамид

Концепция дистанционного мониторинга заземляющих устройств основывается на применении БПЛА. Интеграция БПЛА с ИКЗ и алгоритмами интеллектуальной видеоаналитики позволит автоматизировать контроль состояния заземлителей путем фиксации рабочего положения ИКЗ, заполнения дефектных ведомостей с указанием номера ближайшей опоры и передачи GPS-координат.

Данное решение обладает рядом преимуществ: оно не требует существенной доработки конструкции, позволяет проводить дистанционную бесконтактную диагностику без остановки оборудования и исключает необходимость ручных замеров. В перспективе функционал ИКЗ позволит производить счет пробоев для определения остаточного ресурса ГРПЗ, а также автоматически формировать электронные дефектные ведомости с привязкой к геолокации.

Использование ИИ-агентов для обработки данных

ИИ-агент — это автономная программно-аппаратная система, взаимодействующая с окружающей средой через датчики и исполняющие объекты и функционирующая в соответствии с заданной целевой функцией. Ключевыми характеристиками ИИ-агента являются автономность, реактивность, проактивность и социальность. Существующие классы агентов обладают разными возможностями. Для задач мониторинга системы заземления сформулированы следующие требования:

- непрерывность получения входных данных;
- постоянная корректировка результатов;
- способность к самообучению;
- структуризация событий по критичности, распределенности и отказоустойчивости.

Простые агенты не удовлетворяют требованиям прогнозирования и работы с неполными данными, а целевые избыточны для задач мониторинга. Наилучшим вариантом является гибридная мультиагентная архитектура, сочетающая:

- обучающихся агентов нижнего уровня для обработки сигналов датчиков и определения аномалий;
- агентов на основе цифровых двойников устройств и всей системы заземления;
- агентов на основе полезности для формирования и распределения уведомлений.

Такая архитектура обеспечивает баланс между вычислительной способностью, точностью и надежностью.

Анализ данных

Входными данными для агентов являются показания измерительных приборов, данные цифровых двойников (виртуальных моделей опор и устройств защиты) и метаданные. Они носят разнородный характер: непрерывные временные ряды, дискретные события и категориальные признаки, что сподвигает к предварительной обработке (фильтрации, нормализации, устранению пропусков и синхронизации по времени). Первичный статистический анализ связан с расчетом описательных характеристик параметров заземления и формированием эталонного состояния.

Обнаружение аномалий осуществляется методами контроля выхода за ограничения, анализа временных рядов и машинного обучения. Прогнозирование остаточного ресурса и оценка вероятности отказа выполняются с применением регрессионных моделей и методов классификации, что позволяет реализовать концепцию прогнозного обслуживания.

Результаты анализа преобразуются в сообщения, сортированные по важности:

- информационные уведомления о нормальной работе;
- предупреждающие уведомления при вероятности ухудшения состояния;
- критические сообщения об отказах.

Такая многоуровневая схема реализует принцип управления по отклонениям и снижает информационную нагрузку на персонал.

Система строится по трехуровневой схеме:

1. Нижний уровень образуют устройства защиты и измерительные устройства, а также локальные обучающиеся агенты первичной обработки сигналов.

2. Средний уровень реализует цифровых двойников и координирующих агентов, поддерживающих синхронизацию моделей с реальными объектами.

3. Верхний уровень обеспечивает ведение единой статистической базы, обучение прогнозных моделей, формирование отчетности и взаимодействие с персоналом.

Работа системы организуется в виде непрерывного цикла «восприятие — синхронизация — анализ — оценка — действие — обучение», что обеспечивает переход от реактивного к проактивному управлению.

Заключение

В ходе выполнения работы был проведен анализ существующих подходов к контролю состояния элементов системы заземления опор контактной сети: искровых промежутков и газоразрядных приборов защиты. Установлено, что применяемые в настоящее время методы проверки обладают рядом существенных недостатков: высокой погрешностью измерений, значительными трудозатратами и необходимостью частичного демонтажа устройств.

На основании выявленных недостатков предложено конструктивное решение системы дистанционного контроля, основанное на использовании индикатора короткого замыкания роторного типа, интегрируемого в стержень заземляющего спуска, в сочетании с беспилотными летательными аппаратами и средствами интеллектуальной видеоаналитики. Данное решение обеспечивает бесконтактную диагностику оборудования без вывода из эксплуатации, не требует значительных конструктивных изменений, отличается бюджетной эффективностью и работоспособностью в широком температурном диапазоне.

Для обработки диагностических данных обоснован выбор гибридной мультиагентной архитектуры на основе интеллектуальных ИИ-агентов, сочетающей обучающихся агентов нижнего уровня, агентов на основе модели и агентов на основе полезности. Предложена трехуровневая система мониторинга с интеграцией цифровых двойников опор, реализующая непрерывный цикл функционирования. Применение методов статистического анализа и машинного обучения позволяет реализовать концепцию предиктивного обслуживания и многоуровневую адресную маршрутизацию уведомлений по уровню критичности.

Таким образом, разработанные решения обеспечивают непрерывность контроля, раннее выявление скрытых дефектов и деградационных процессов, повышение электробезопасности за счет сокращения времени реакции на критические отказы, оптимизацию затрат на обслуживание и снижение нагрузки на персонал. Интеграция агентной системы с цифровыми двойниками формирует единое информационное пространство, позволяющее не только фиксировать текущее состояние заземляющих устройств, но и моделировать их поведение при различных сценариях эксплуатации, что соответствует задачам построения инфраструктуры цифровой железной дороги нового поколения.

Список источников

1. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.06.2008 № 877-р.

2. ЦЭ-191. Инструкция по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах. М.: МПС РФ, 1993. 69 с.

3. Оценка условий электробезопасности при применении опор контактной сети в качестве естественных заземлителей / Т. С. Титова [и др.] // Электротехника. 2021. № 2. С. 7–11.

4. ГОСТ Р 12.1.038-2024. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов. М.: Издательство стандартов, 2024. 16 с.

5. Железобетонная опора контактной сети, эксплуатируемая без заземления на рельс: патент № 213503 РФ / А. В. Агунов [и др.] // Бюллетень изобретений. 2022. № 26.

6. Электропроводящий бетон: патент № 2810991 РФ / И. А. Баранов [и др.] // Бюллетень изобретений. 2024. № 1.

7. Кремлев И. А., Терехин И. А., Скоков Р. Б. Перспектива развития системы тягового электроснабжения переменного тока с опорами контактной сети, не заземленными на рельс // Бюллетень результатов научных исследований. 2020. Вып. 4. С. 57–66.

8. Терехин И. А. Совершенствование системы заземления опор контактной сети в тяговом электроснабжении переменного тока: дис. ... канд. техн. наук. СПб.: ПГУПС, 2018. 135 с.

9. Баранов И. А., Сулимин А. Ю., Терехин И. А. Вопросы электробезопасности при применении электропроводящего железобетона в фундаментах опор контактной сети переменного тока // Вестник Московского энергетического института. 2026. Вып. 2. С. 22–29.

10. Карякин Р. Н. Заземляющие устройства электроустановок: справочник. М., 2002. 374 с.

11. Платонов А. В., Филонин Е. Н. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие. Изд. 2-е, испр. Н. Новгород: НГТУ им. Р. Е. Алексеева, 2012. 345 с.

12. Соединители и коммутационные устройства: учебное пособие / И. Б. Бондаренко [и др.]. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. 151 с.

13. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. IEEE SA Standard's Board, 2007. 225 p.

14. ГОСТ Р 58882-2020. Заземляющие устройства. Системы уравнивания потенциалов. Заземлители. Заземляющие проводники: технические требования. М.: Стандартинформ, 2020. 45 с.

15. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. М.: Вильямс, 2021.

16. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. М.: Эдиториал УРСС, 2002.

17. Марквардт К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1982.

18. Правила устройства и технической эксплуатации контактной сети электрифицированных железных дорог. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200058170

19. Wooldridge M. An Introduction to MultiAgent Systems. Wiley, 2009.

Дата поступления: 15.07.2026
Решение о публикации: 30.08.2026

Контактная информация:
ХМЕЛЬНИЦКАЯ Тамара Вячеславовна — магистр кафедры «Наземные транспортно-технологические комплексы»; khmelnitskaya@pgups.ru
СУЛИМИН Артем Юрьевич — аспирант кафедры «Электроснабжение железных дорог»; sulimin@pgups.ru;
АГУНОВ Александр Викторович — доктор техн. наук, заведующий кафедры «Электроснабжение железной дороги»; agunov@pgups.ru;
БОБРОВ Андрей Алексеевич — начальник Управления энергетического и инженерного обеспечения; andrey.JP@yandex.ru

Application of New Forecasting Models Based on Artificial Intelligence, New Materials and New Mechanisms to Improve the Grounding System of Supports

T. V. Khmel'nitskaya, A. Yu. Sulimin, A. V. Agunov, A. A. Bobrov

Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky ave., St. Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Khmel'nitskaya T. V.*, *Sulimin A. Yu., Agunov A. V., Bobrov A. A.* Application of New Forecasting Models Based on Artificial Intelligence, New Materials and New Mechanisms to Improve the Grounding System of Supports // Bulletin of Scientific Research Results, 2026, iss. 3, pp. 116–125. DOI: 10.20295/2223-9987-2026-3-116-125 (In Russian)

Abstract

Objective: to improve the grounding system for AC contact network supports by developing a device for remote monitoring of the state of spark gaps and gas-discharge protection devices, as well as substantiating the use of intelligent AI agents to process diagnostic data and transition from reactive to predictive maintenance. **Methods:** comparative analysis of existing control methods. A constructive solution based on a short-circuit indicator is proposed, in combination with unmanned aerial vehicles and intelligent video analytics tools. **Results:** the proposed solution provides contactless remote diagnostics without decommissioning the equipment and does not require significant design changes. **Practical significance:** continuous monitoring, early detection of hidden defects and degradation processes, increased electrical safety, optimization of operating costs and reduction of the burden on the personnel of the power supply service.

Keywords: grounding system, remote monitoring, short circuit indicator, digital twin, predictive maintenance

References

1. Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossijskoj Federacii do 2030 goda: rasporyazhenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 17.06.2008 no. 877-r [Strategy for the Development of Railway Transport in the Russian Federation until 2030: Order of the Government of Russian Federation, dated June 17, 2008, no. 877-r]. (In Russian)

2. CE-191. Instruktsiya po zazemleniyu ustrojstv elektrosnabzheniya na elektrifitsirovannykh zheleznykh dorogakh [Instruction CE191 on Grounding of Power Supply Devices on Electrified Railways], Moscow, Ministry of Railways of the Russian Federation, 1993, 69 p. (In Russian)

3. Titova T. S., et al. Otsenka uslovij elektrobezopasnosti pri primenenii opor kontaktnoj seti v kachestve estestvennykh zazemlitelej [Assessment of Electrical Safety Conditions When Using Overhead Line Poles as Natural Grounding Electrodes], *Elektrotekhnika [Electrical Engineering]*, 2021, no. 2, pp. 7–11. (In Russian)

4. GOST R 12.1.038-2024. SSBT. Elektrobezopasnost′. Predel′no dopustimye urovni napryazhenij prikosnoveniya i tokov [GOST R 12.1.038-2024. Occupational Safety Standards System. Electrical Safety. Maximum Permissible Levels of Touch Voltages and Currents], Moscow, Izdatel′stvo standartov [Publishing House of Standards], 2024, 16 p. (In Russian)

5. Agunov A. V., et al. Zhelezobetonnaya opora kontaktnoj seti, ekspluatiruemaya bez zazemleniya na rel′s: patent № 213503 RF [Reinforced Concrete Support of a Contact Network Operated without Grounding on a Rail: patent no. 213503 of the Russian Federation], Byulleten′ izobretenij [Bulletin of Inventions], 2022, no. 26 (In Russian)

6. Baranov I. A., et al. Elektroprovodyashchij beton [Electrically Conductive Concrete]. Patent RF, no. 2810991, 2024. (In Russian)

7. Kremlev I. A., Terekhin I. A., Skokov R. B. Perspektiva razvitiya sistemy tyagovogo elektrosnabzheniya peremennogo toka s oporami kontaktnoj seti, ne zazemlennymi na rel′s [Prospects for the Development of AC Traction Power Supply Systems with Overhead Line Poles Not Grounded to the Rail], *Bjulleten' rezul'tatov nauchnyh issledovanij [Bulletin of Research Results]*, 2020, iss. 4, pp. 57–66. (In Russian)

8. Terekhin I. A. Sovershenstvovanie sistemy zazemleniya opor kontaktnoj seti v tyagovom elektrosnabzhenii peremennogo toka: dis. ... kand. tekhn. nauk [Improving the Grounding System of Overhead Line Poles in AC Traction Power Supply: PhD in Engineering, diss.], St. Petersburg: PGUPS [Petersburg State Transport University], 2018, 135 p. (In Russian)

9. Baranov I. A., Sulimin A. Yu., Terekhin I. A. Voprosy elektrobezopasnosti pri primenenii elektroprovodyashchego zhelezobetona v fundamentakh opor kontaktnoj seti peremennogo toka [Electrical Safety Issues When Using Electrically Conductive Reinforced Concrete in Foundations of AC Overhead Line Poles], *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta [Bulletin of the Moscow Power Engineering Institute]*, 2026, iss. 2, pp. 22–29. (In Russian)

10. Karyakin R. N. Zazemlyayushchie ustrojstva elektroustanovok: spravochnik [Grounding Devices for Electrical Installations: Handbook], Moscow, 2002, 374 p. (In Russian)

11. Platonov A. V., Filonin E. N. Bezopasnost′ zhiznedeyatel′nosti: uchebnoe posobie, Izd. 2-e, ispr. [Life Safety: A Textbook. 2nd edition, revised], Nizhniy Novgorod, NGTU im. R. E. Alekseeva [Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev], 2012, 345 p. (In Russian)

12. Bondarenko I. B., et al. Soediniteli i kommutatsionnye ustrojstva: uchebnoe posobie [Connectors and Switching Devices: A Textbook], St. Petersburg: SPbGU ITMO [Saint Petersburg State University of Information Technologies], 2007, 151 p. (In Russian)

13. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems, IEEE SA Standards Board, 2007, 225 p.

14. GOST R 58882-2020. Zazemlyayushchie ustrojstva. Sistemy uravnivaniya potentsialov. Zazemliteli. Zazemlyayushchie provodniki: tekhnicheskie trebovaniya [GOST R 58882-2020. Grounding Devices. Potential Equalization Systems. Ground Electrodes. Grounding Conductors: Technical Requirements], Moscow, Standartinform, 2020, 45 p. (In Russian)

15. Russell S., Norvig P. Iskusstvennyj intellekt: sovremennyj podkhod [Artificial Intelligence: A Modern Approach], Moscow, Vilyams, 2021. (In Russian)

16. Tarasov V. B. Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual′nym organizatsiyam [From Multi-Agent Systems to Intelligent Organizations], Moscow, Editorial URSS, 2002. (In Russian)

17. Markvardt K. G. Elektrosnabzhenie elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog [Power Supply of Electrified Railways], Moscow, Transport, 1982. (In Russian)

18. Pravila ustrojstva i tekhnicheskoj ekspluatatsii kontaktnoj seti elektrifitsirovannykh zheleznykh dorog [Rules for the Installation and Technical Operation of Overhead Lines on Electrified Railways]. URL: https://docs.cntd.ru/document/1200058170 (In Russian)

19. Wooldridge M. An Introduction to Multi-Agent Systems, Wiley, 2009.

Received: July 15, 2026
Accepted: August 30, 2026

Author's information:
Tamara V. KHMEL'NITSKAYA — Master of the "Land-Based Transport and Technological Complexes" Department; khmelnitskaya@pgups.ru
Artyom Yu. SULIMIN — Postgraduate Student of the "Electric Power Supply of Railways" Department; sulimin@pgups.ru
Aleksandr V. AGUNOV — Dr. Sci. in Engineering, Head of the "Railway Power Supply" Department; agunov@pgups.ru
Andrej A. BOBROV — Head of the "Energy and Engineering Support" Department; andrey.JP@yandex.ru