

А. С. Маниковский, Д. А. Яковлев, А. Ю. Мухопад

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация. Эффективное управление энергетическим комплексом железнодорожного транспорта требует оперативной обработки больших объемов информации, поступающих из автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии. Прогнозные оценки составляют базовую информацию для принятия решений о планировании электропотребления. Точность прогнозов потребления электроэнергии определяет эффективность управления энергетическим комплексом железнодорожного транспорта и обеспечивает экономию электроэнергии и снижение затрат на ее приобретение, поскольку правилами функционирования энергорынков установлена обязанность потребителей по точному планированию объемов электропотребления. Таким образом, актуальность работы заключается в повышении точности методов прогнозирования потребления электрической энергии с применением современных технологий обработки информации, предоставляющих диспетчерскому персоналу возможность выбора и реализации выданных системой эффективных алгоритмов планирования потребления электроэнергии, что позволит существенно улучшить качество управления электропотреблением электроустановок на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: прогнозирование электропотребления, управление электропотреблением, нейронная сеть, управляющий автомат, тяга поездов.

Для цитирования: Маниковский, А. С. Повышение точности методов прогнозирования электропотребления в системе управления электроснабжением железнодорожного транспорта / А. С. Маниковский, Д. А. Яковлев, А. Ю. Мухопад // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 87–93. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_4_87.

Введение

Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) ОАО «РЖД» функционирует для получения данных о фактическом потреблении электроэнергии по группам точек поставки с целью организации измерений параметров потребления электрической энергии по тяговым подстанциям, точки измерений которых входят в данную систему, и проведения финансовых расчетов на оптовом и розничном рынках электроэнергии.

Удовлетворение потребностей ОАО «РЖД» в электрической энергии (ЭЭ) осуществляет филиал компании – Трансэнерго (НТЭ). Помимо этого, реализуется деятельность по передаче ЭЭ и сторонним потребителям. Кроме того, НТЭ осуществляет эксплуатацию и техническое обслуживание энергетической инфраструктуры железнодорожного транспорта.

Величина планируемого электропотребления (ЭП) определяется исходя из прогноза объемов перевозок на предстоящий период, которые формирует служба экономики и финансов железной дороги. В части планирования, как правило, подаются договорные объемы потребления на предстоящий период (на год) с ежемесячной детализацией. Сформированные региональными подразделениями заявки на планируемую величину электропотребления передаются в головной офис «Трансэнерго». Дальнейшее взаимодействие НТЭ с основным поставщиком электрической энергии – ООО «Русэнергосбыт» – реализуется в рамках договора электроснабжения. Оплата за поставленные объемы электроэнергии осуществляется от фактических объемов потребления в рамках ценовых зон.

Основная часть

При планировании объемов будущего электропотребления отделом покупки и распределения электроэнергии «Трансэнерго» используются разные виды прогнозов по времени упреждения.

Долгосрочное планирование необходимо для анализа пропускной и провозной способности магистрали, а также для определения ограничений энергетической инфраструктуры при увеличении объема перевозок. Это позволяет рассчитать необходимые объемы реконструкции и модернизации суще-

ствующей системы тягового электроснабжения. Горизонт планируемых объемов потребления электроэнергии при долгосрочном прогнозировании может составлять от трех до десяти лет. Среднесрочные прогнозы используются для формирования договорной заявки на величину электропотребления на предстоящий период (один год). Краткосрочные прогнозы необходимы для ежемесячной детализации договорных объемов электропотребления, а также при оплате за электроэнергию на месяц вперед.

Ко всем вышеперечисленным видам прогнозирования предъявляются высокие требования в отношении их точности. Однако особое внимание уделяется краткосрочным прогнозам. ОАО «РЖД» резервирует денежные средства для оплаты электроэнергии за последующий месяц, поэтому необходимо максимально точно предсказать величину потребления ЭЭ в этом периоде. В случае отклонения прогнозной величины от фактической более чем на 5 % предприятие несет дополнительные издержки.

При построении прогнозов в ОАО «РЖД» используется метод экспертных оценок. Эксперт, исходя из личного опыта, текущего состояния энергетической инфраструктуры, а также планируемых объемов перевозок на предстоящий период, определяет величину будущего электропотребления. Данный метод показывает приемлемые результаты в случаях, когда прогнозируемые процессы хорошо идентифицируются и в высокой степени предсказуемы. Однако условия работы железнодорожного транспорта характеризуются неравномерностью загрузки системы по времени и сложностью условий эксплуатации, что затрудняет формирование полной исходной базы данных, которая дает информацию об исследуемом объекте [1]. Для тягового электропотребления, которое составляет 85 % от общего электропотребления ОАО «РЖД», характерны скачкообразные изменения объемов потребления ЭЭ, отсутствие регулярной зависимости от дней недели, времени суток или других периодов. Все эти факторы осложняют процесс прогнозирования ЭП и, как следствие, процесс управления энергетическим комплексом предприятия.

Эффективным способом прогнозирования электропотребления в настоящее время являются нейронные сети (НС) [2, 3]. Применение таких прогностических моделей позволяет планировать величину ЭП с высокой точностью, что обусловлено способностью НС анализировать большой объем информации, обобщать и выделять скрытые взаимосвязи входных и выходных значений [4].

Имея неоспоримые преимущества над традиционными вычислениями, НС не являются идеальным решением. Вычисляя результат по конкретному набору исходных данных, нейронные сети не учитывают динамику этих данных и их изменение. При составлении прогнозов будущего ЭП помимо мгновенных входных данных требуется анализ предыстории возникновения таких данных. Для этой цели авторами предлагается использовать управляющие автоматы (УА).

Управляющие автоматы производят предварительную обработку данных – выделяют параметры, которые видны только при обзоре всей динамики происходящих процессов. УА анализируют динамику изменения временного ряда ЭП и динамику изменения влияющих факторов. Затем эти параметры обрабатываются нейронной сетью. Таким образом, на входной слой НС поступают не конкретные значения электропотребления, а выделенные характеристики значений, по которым производится прогноз [5]. На рис. 1 приведена схема синтеза НС и УА.

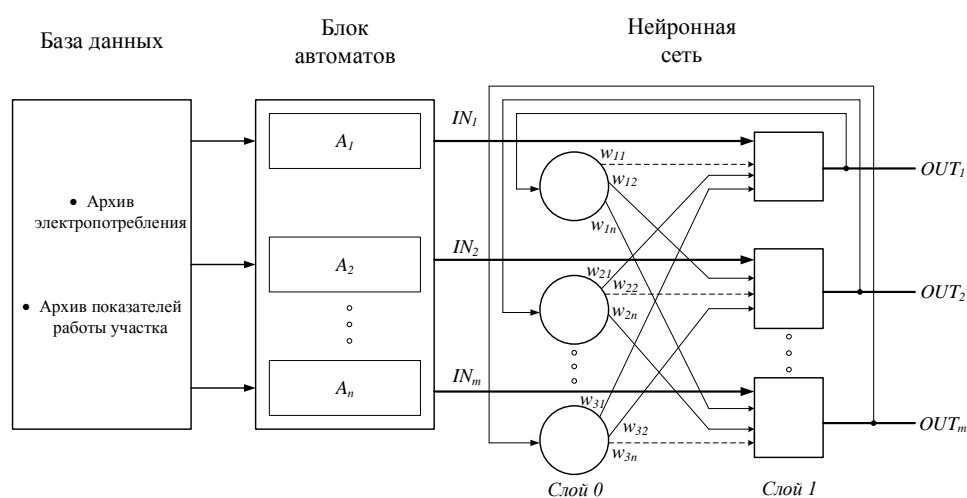


Рис. 1. Схематическое изображение взаимодействия НС и УА

Для выполнения предварительного анализа временного ряда используется разработанный управляющий автомат с контролем состояний. Предложенная методология синтеза определила возможность создания оригинальной структуры управляющего автомата, обеспечивающая снижение затрат на комбинационную схему в сравнении с известными УА со структурной организацией Мура и Мили [6, 7].

На рис. 2 представлена структурная схема предлагаемой методики прогнозирования с использованием нейронной сети и управляющего автомата.

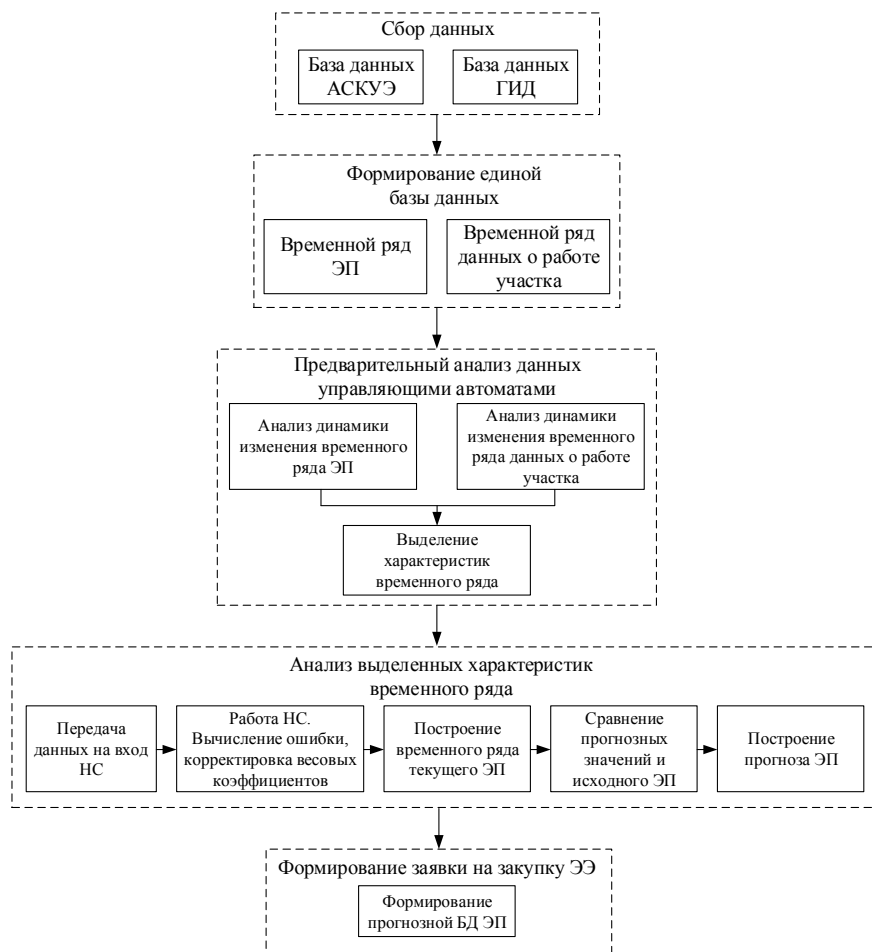


Рис. 2. Структурная схема предлагаемой модели прогнозирования

Внешняя среда для задачи прогнозирования формируется из архивов электропотребления и данных о работе участка [8], получаемых из АСКУЭ и ГИД «УРАЛ-ВНИИЖТ». По окончании сбора данных производится их предварительный анализ при помощи управляющих автоматов: выделение характеристик временного ряда, таких как тренд, сезонность и случайные возмущения. Затем выделенные характеристики временного ряда подаются на входы нейронной сети, которые анализируются ею. Далее происходит построение временного ряда, текущего ЭП, который сравнивается с реальными показателями величины ЭП. Если уровень ошибки не превышает допустимых значений, то происходит построение прогноза потребления ЭЭ для заданного периода упреждения. В противном случае производится диагностика системы на каждом этапе работы предлагаемой методики: проверка работоспособности УА и НС и проверка корректности исходных данных.

Результаты эксперимента

Апробация методики была произведена на примере работы тяговой подстанции Белогорск Забайкальской железной дороги, где было проведено прогнозирование ЭП. Исходными данными послужил архив электропотребления за 2022 г., горизонт прогноза составил 24 часа. На рис. 3 приведены результаты сравнения фактического ЭП с прогнозами нейронных сетей и комбинации НС и УА по предложенной методике.

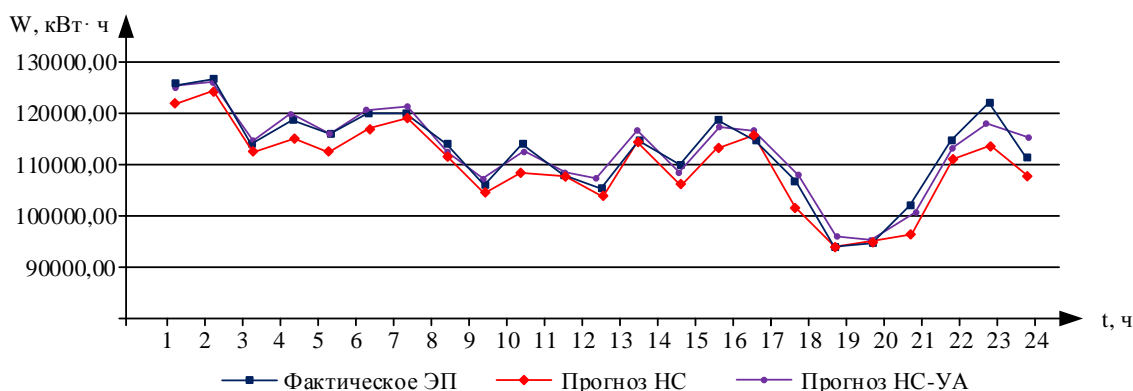


Рис. 3. Сравнение фактического ЭП с прогнозными значениями

При прогнозировании методом, основанным на работе только нейронной сети, величина отклонений составила 6,8 %. Временной ряд, построенный с применением предложенной методики, более точно описывает временной ряд фактического ЭП, а величина отклонений составляет 3 %, что свидетельствует о ее работоспособности.

На рис. 4 представлена предлагаемая структурная схема методики поддержки принятия решения для формирования заявки прогнозной величины потребления электроэнергии. Система автоматически получает данные по ЭП для заданных участков железных дорог, соответствующих группам точек поставки. Затем данные загружаются в базу данных, и по определенному алгоритму строится прогноз почасового ЭП для всех групп точек поставки ЭЭ. Полученные прогнозные величины поступают диспетчерскому персоналу «Трансэнерго». Система предоставляет возможность персоналу формировать прогноз ЭП в полуавтоматическом экспертном режиме, меняя параметры алгоритма прогнозирования, а именно глубину ретроспективных данных, весовые коэффициенты, коэффициенты, отражающие изменение потребления, связанное с увеличениями или уменьшениями объема работы участка. В результате система строит прогноз почасового потребления электрической энергии по скорректированному алгоритму.

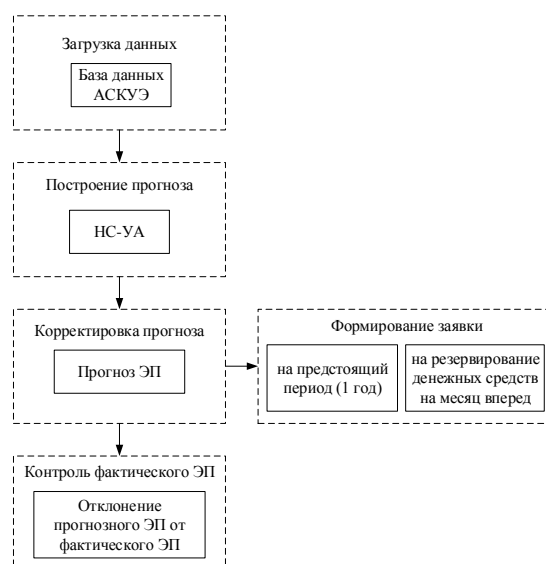


Рис. 4. Методика принятия решения

Во время работы система обеспечивает диспетчерский контроль фактического ЭП и расхождения с прогнозным с учетом штрафных санкций. В процессе работы рассчитывается стоимость потребленной электроэнергии по объектам учета железной дороги и штрафов за отклонения, а также оценивается эффективность функционирования системы. Диспетчер может проводить анализ потребления ЭЭ с отображением соответствующих графиков планового и фактического потребления за любой прошедший период.

Вывод

Таким образом, предлагаемые методика взаимодействия НС и УА и алгоритм принятия управленческих решений позволят повысить точность и скорость прогнозирования ЭП. В свою очередь, повышение точности прогнозирования потребления электроэнергии позволит уменьшить затраты на приобретение ЭЭ и существенно улучшить качество управления электропотреблением электроустановок [9, 10] на железнодорожном транспорте.

Список литературы

- 1 **Осипова, В. Э.** Применение нейросетевых методов прогнозирования электропотребления на железнодорожном транспорте / В. Э. Осипова, Д. А. Яковлев // Современные информационные технологии и ИТ-образование. – 2022. – Т. 18, № 1. – С. 107–118. – DOI 10.25559/SITITO.18.202201.107-118.
- 2 **Староверов, Б. А.** Схемы взаимодействия поставщиков и получателей прогнозов электропотребления на основе использования нейросетевой информационной системы / Б. А. Староверов // Инженерный вестник Дона. – 2018. – № 1 (48). – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4784 (дата обращения: 29.11.2024).
- 3 **Кретов, Д. А.** Прогнозирование электропотребления энергосбытовой компании с использованием искусственной нейронной сети / Д. А. Кретов, Р. В. Рузанов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 2–1 (35). – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2880 (дата обращения: 29.11.2024).
- 4 Использование рекуррентных сетей для прогнозирования потребления электроэнергии / С. Л. Подвальный, М. А. Лихотин, А. В. Михайлулов, А. К. Донских // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2022. – Т. 18, № 3. – С. 45–50. – DOI 10.36622/VSTU.2022.18.3.005.
- 5 **Маниковский, А. С.** Автоматизация процесса прогнозирования электропотребления на железнодорожном транспорте с применением управляющего автомата / А. С. Маниковский, Д. А. Яковлев, А. Ю. Мухопад // Известия Транссиба. – 2024. – № 3 (59). – С. 128–136. – ISSN 2220-4245.
- 6 Структурная организация управляющих автоматов вычислительных и информационно-измерительных систем / Ю. Ф. Мухопад, А. Ю. Мухопад, Д. Ц. Пунсык-Намжилов, А. С. Маниковский // Автотририя. – 2021. – Т. 57, № 4. – С. 65–73. – DOI 10.15372/AUT20210408.
- 7 **Патент № 2793301 С1.** Российская Федерация, МПК G11C 11/00. Управляющий автомат с контролем состояний / А. Ю. Мухопад, А. С. Маниковский. – № 2022118502 ; заявл. 05.07.2022 ; опублик. 31.03.2023. – EDN ОААКОК.

References

- 1 **Osipova, V. E.** Application of neural network methods for predicting power consumption in railway transport / V. E. Osipova, D. A. Yakovlev // Modern information technologies and IT-education. – 2022. – Vol. 18, No. 1. – P. 107–118. – DOI 10.25559/SITITO.18.202201.107-118.
- 2 **Staroverov, B. A.** Ways of interaction between providers and consumers of forecasts of electrical power consumption based on the use of a neural network information system / B. A. Staroverov, I. V. Semenov // Engineering Journal of Don. – 2018. – No. 1 (48). – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4784 (date of access: 11/29/2024).
- 3 **Kretov, D. A.** Forecasting the electricity consumption of an energy supply company using an artificial neural network / D. A. Kretov, R. V. Ruzanov // Engineering Journal of Don. – 2015. – No. 2–1 (35). — URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2880 (date of access: 11/29/2024).
- 4 Using recurrent networks to predict electricity consumption / S. L. Podvalny, M. A. Likhotin, A. V. Mikhailusov, A. K. Donskikh // The Bulletin of the Voronezh State Technical University. – 2022. – Vol. 18, No. 3. – P. 45–50. – DOI 10.36622/VSTU.2022.18.3.005.
- 5 **Manikovskiy, A. S.** Automation of the process of forecasting power consumption in railway transport using a control automaton / A. S. Manikovskiy, D. A. Yakovlev, A. Yu. Mukhopad // Journal of Transsib Railway Studies. – 2024. – No. 3 (59). – P. 128–136. – ISSN 2220-4245.
- 6 The structural organization of control automata for computing and information-measuring systems / Yu. F. Mukhopad, A. Yu. Mukhopad, D. Ts. Punsyk-Namzhilov, A. S. Manikovskiy // Avtometriya. – 2021. – Vol. 57, No. 4. – P. 388–395. – DOI 10.3103/S8756699021040087.
- 7 **Patent No. 2793301 C1.** Russian Federation, IPC G11C 11/00. Control automaton with state monitoring / A. Yu. Mukhopad, A. S. Manikovskiy. – No. 2022118502 ; declared 05.07.2022 ; publ. 31.03.2023. – EDN ОААКОК.

8 **Шурова, Н. К.** Применение программного комплекса MATLAB к прогнозированию электропотребления на тягу поездов / Н. К. Шурова, В. Н. Ли // Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона. – 2021. – № 3 (28). – С. 43–49. – EDN GVGLRN.

9 **Дзгоев, А. Э.** Разработка методов краткосрочного и оперативного прогнозирования электропотребления в системе управления электроснабжением региона : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.13.01 / Дзгоев Алан Эдуардович. – Владикавказ, 2011. – 157 с. – EDN QFFRTR.

10 **Митрофанов, А. Н.** Прогнозирование и управление электропотреблением тяги поездов : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук : 05.22.07 / Митрофанов Александр Николаевич. – Самара, 2006. – 501 с. – EDN NOHBVD.

8 **Shurova, N. K.** Application of the MATLAB software package to forecasting power consumption for hauling operations / N. K. Shurova, V. N. Li // Transport of the Asia-Pacific region. – 2021. – No. 3 (28). – P. 43–49. – EDN GVGLRN.

9 **Dzgoev, A. E.** Development of methods for short-term and operational forecasting of electricity consumption in the power supply management system of the region : dissertation for the degree of candidate of technical sciences : 05.13.01 / Dzgoev Alan Eduardovich. – Vladikavkaz, 2011. – 157 p. – EDN QFFRTR.

10 **Mitrofanov, A. N.** Forecasting and management of electric consumption of train traction : dissertation for the degree of doctor of technical sciences : 05.22.07 / Mitrofanov Alexander Nikolaevich. – Samara, 2006. – 501 p. – EDN NOHBVD.

A. S. Manikovskiy, D. A. Yakovlev, A. Yu. Mukhopad

IMPROVING THE ACCURACY OF METHODS FOR FORECASTING POWER CONSUMPTION IN THE RAILWAY POWER SUPPLY MANAGEMENT SYSTEM

Abstract. Effective management of the energy complex of railway transport requires the prompt processing of large amounts of information coming from an automated commercial electricity metering system. Forward-looking estimates provide basic information for decision-making on power consumption planning. The accuracy of forecasts of electricity consumption determines the efficiency of managing the energy complex of railway transport, as well as ensures savings of electric energy and reduction of costs for its purchase, since the rules of operation of energy markets establish the obligation of consumers to accurately plan the volume of electricity consumption. Thus, the relevance of the work lies in improving the accuracy of methods for predicting electric energy consumption using modern information processing technologies, which provide dispatching personnel with the opportunity to select and implement effective algorithms for planning electricity consumption issued by the system, which will significantly improve the quality of power consumption management of electrical installations in railway transport.

Keywords: power consumption forecasting, power consumption management, neural network, control automaton, train traction.

For citation: Manikovskiy, A. S. Improving the accuracy of methods for forecasting power consumption in the railway power supply management system / A. S. Manikovskiy, D. A. Yakovlev, A. Yu. Mukhopad // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2024. – No. 4. – P. 87–93. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_4_87.

Сведения об авторах

Маниковский Андрей Сергеевич
Забайкальский институт
железнодорожного транспорта – филиал
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный
университет путей сообщения»
(ЗабИЖТ ИрГУПС),
кафедра «Электроснабжение»,
старший преподаватель,
e-mail: andrey-18@mail.ru

Information about the authors

Manikovskiy Andrey Sergeevich
Zabaikalsk Rail Transport Institute,
Branch of Irkutsk State Transport University
(ZRTI IrSTU),
Chair «Power Supply»,
Senior Lecturer,
e-mail: andrey-18@mail.ru

Яковлев Дмитрий Александрович

Забайкальский институт
железнодорожного транспорта – филиал
ФГБОУ ВО «Иркутский государственный
университет путей сообщения»
(ЗабИЖТ ИрГУПС),
кафедра «Электроснабжение»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: d5028280@mail.ru

Мухопад Александр Юрьевич

Иркутский государственный университет
путей сообщения (ИрГУПС),
кафедра «Автоматизация
производственных процессов»,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: jcmg@mail.ru

Yakovlev Dmitriy Aleksandrovich

Zabaikalsk Rail Transport Institute,
Branch of Irkutsk State Transport University
(ZRTI IrSTU),
Chair «Power Supply»,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
e-mail: d5028280@mail.ru

Mukhopad Aleksandr Yurievich

Irkutsk State Transport University (IrSTU),
Chair «Automation of Production Processes»,
Doctor of Engineering Sciences,
Professor,
e-mail: jcmg@mail.ru